

POTENSI KO-KULTUR ANGGUR LAUT (*Caulerpa lentillifera*) DAN UDANG WINDU (*Penaeus monodon*) DI TAMBAK TRADISIONAL AIR PAYAU
ASSESSING THE COCULTURE POTENTIAL OF SEA GRAPES (*Caulerpa lentillifera*) AND TIGER SHRIMP (*Penaeus monodon*) IN TRADITIONAL BRACKISH WATER PONDS

Jumiati, Nanang Maulana, Heriansah*, Imran Lapong, Arnold Kabangnga

Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa, Makassar, Indonesia

*Corresponden author email: heriansah.itbm.bd@gmail.com

Submitted: 21 January 2023 / Revised: 08 February 2023 / Accepted: 14 February 2023

<http://doi.org/10.21107/juvenil.v4i1.18563>

ABSTRAK

Keberhasilan pertumbuhan anggur laut *Caulerpa lentillifera* yang dikultur bersama dengan udang windu ditentukan oleh posisi yang tepat untuk menerima nutrisi secara maksimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pertumbuhan anggur laut dan udang windu pada posisi tanam di dasar dan lepas dasar di dalam tambak tradisional masing-masing dengan 10 ulangan. Hapa berukuran 1x1 m dan nampan 25x25 cm digunakan untuk memelihara kedua spesies ini. Selama masa pemeliharaan 35 hari, udang windu tidak diberi pakan buatan untuk mempertahankan tipikal tambak tradisional sebagai pemasok bahan pangan organik. Uji t independen mengindikasikan Laju Pertumbuhan Spesifik (LPS) anggur laut dan udang windu di dasar tambak ($1,98 \pm 0,32\%$ dan $3,68 \pm 0,11\%$ per hari) secara signifikan ($p < 0,05$) lebih tinggi dibandingkan lepas dasar ($1,59 \pm 0,29\%$ dan $3,50 \pm 0,31\%$ per hari). Sementara itu, Efisiensi Reduksi Nutrien (ERN) dari Total Amonia Nitrogen (TAN) sebesar $38,53 \pm 4,48\%$ yang mengindikasikan kemampuan *C. lentillifera* menyerap bahan anorganik. Studi menyimpulkan bahwa ko-kultur *C. lentillifera* dan udang windu memiliki efek sinergitas yang positif dan dapat dikembangkan di tambak tradisional. Untuk hasil yang lebih baik, disarankan *C. lentillifera* ditanam pada dasar tambak dan dikultur bersama dengan udang windu.

Kata Kunci: anggur laut, ko-kultur, pertumbuhan, tambak tradisional, udang windu

ABSTRACT

The successful growth of sea grapes *Caulerpa lentillifera* co-cultured with tiger prawns is determined by the appropriate position to absorb maximum nutrients. This study aims to evaluate the growth of sea grapes and tiger shrimp in bottom and off-bottom planting position in traditional ponds with 10 replicates each. Hapa 1x1 m and trays of 25x25 cm were used to rear these two species. During the 35-day rearing period, tiger shrimp were not artificially fed to maintain traditional ponds typical of organic food suppliers. The independent t-test indicated that the Specific Growth Rate (SGR) of sea grapes and tiger prawns at the bottom ($1.98 \pm 0.32\%$ and $3.68 \pm 0.11\%$ day⁻¹) were significantly ($p < 0.05$) higher than off the bottom ($1.59 \pm 0.29\%$ and $3.50 \pm 0.31\%$ day⁻¹). Meanwhile, the Nutrient Reduction Efficiency (ERN) of Total Ammonia Nitrogen (TAN) was $38.53 \pm 4.48\%$, which indicated the ability of *C. lentillifera* to absorb inorganic materials. The study concluded that the co-culture of *C. lentillifera* and tiger shrimp had a positive synergistic effect and could be developed in traditional ponds. For better results, it is recommended to plant *C. lentillifera* at the bottom of the pond and co-culture with tiger shrimp.

Keywords: co-culture, growth, tiger prawns, sea grapes, traditional pond

PENDAHULUAN

Tambak air payau di Indonesia dilaporkan sekitar 80% dikelola dengan sistem tradisional (Wati, 2018). Tipikal dari sistem ini adalah menggunakan teknologi sederhana yang mengatur air berdasarkan pasang surut serta

mengaplikasikan sedikit atau tanpa pakan dan pupuk (Ariyati *et al.*, 2019; Perryman *et al.*, 2017). Selain itu, sistem tradisional bergantung pada kondisi alam sehingga daya dukung lingkungan untuk mendukung pertumbuhan optimal organisme relatif rendah (Amalia *et al.*,

2022). Meskipun demikian, tipikal ini memiliki keunggulan komparatif karena menghasilkan makanan organik dan didukung oleh pengalaman historis pembudidaya. Untuk mengembangkannya, keunggulan tersebut harus tetap dipertahankan melalui penggunaan metode akuakultur yang dapat mengoptimalkan produktivitas tambak tradisional.

Pembudidaya sistem tradisional membutuhkan metode akuakultur yang bersifat praktis untuk meningkatkan produksinya (Heriansah *et al.*, 2021). Namun, dalam perspektif peningkatan produksi, selain manfaat ekonomis, aspek ekologis juga harus diperhatikan yang saat ini menjadi isu penting dalam budidaya berkelanjutan. Lalramchhani *et al.* (2020) mengemukakan bahwa diversifikasi produksi merupakan salah satu strategi yang paling penting untuk mencapai keberlanjutan jangka panjang budidaya di air payau.

Sistem ko-kultur adalah contoh diversifikasi produksi dengan memelihara organisme pada waktu (temporal) dan tempat (spasial) yang sama. Banyak studi menemukan bahwa ko-kultur rumput laut dan udang memberikan manfaat ekologis dan ekonomis, seperti meningkatkan hasil produksi dan produktivitas lahan, menjaga kualitas air yang optimal, dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan makanan di area produksi (Anh *et al.*, 2021; Fierro-Sanudo *et al.*, 2020; Ly *et al.*, 2021; Anh *et al.*, 2018). Secara khusus, sebagian besar produksi udang windu (*Penaeus monodon*) di Indonesia berasal dari sistem tradisional (Mustafa *et al.*, 2021). Oleh karena itu, untuk spesies ini perlu dikembangkan di tambak tradisional dengan sistem ko-kultur, misalnya dengan anggur laut (*Caulerpa lentillifera*).

C. lentillifera dikenal sebagai bahan pangan dan non pangan yang penting karena dikonsumsi secara luas oleh masyarakat (Lapong *et al.*, 2019; Perryman *et al.*, 2017; Rabia, 2016). Oleh karena itu, wajar jika permintaan meningkat di pasar domestik dan luar negeri (Zubia *et al.*, 2020). Namun, produksi jenis anggur lain ini belum mampu memenuhi permintaan karena umumnya masih mengandalkan dari alam yang musiman (Iskandar *et al.*, 2015). Meskipun budidayanya mulai berkembang saat ini, namun masih terbatas dan kurang optimal produksinya (Azis *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2019), menjadikannya

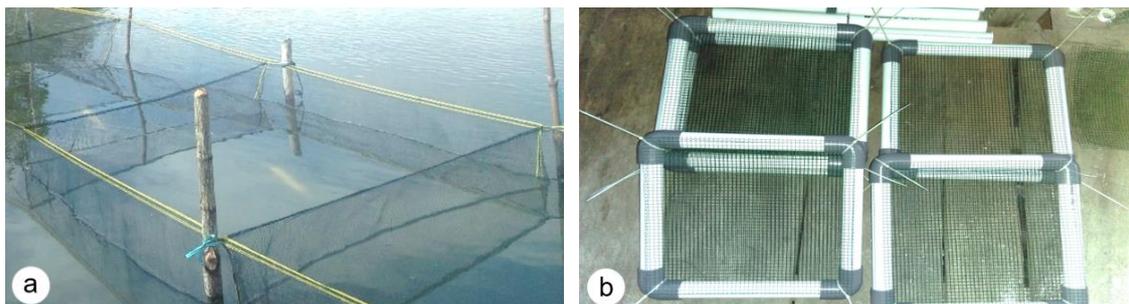
tantangan sekaligus peluang bagi pengembangan *C. lentillifera* di tambak.

Beberapa studi menunjukkan bahwa *C. lentillifera* dapat meningkatkan biomassa dan profil nutrisi pakan alami (Herawati *et al.*, 2021) dan menyerap nitrogen dan fosfor terlarut (Liu *et al.*, 2016) sehingga berpotensi menurunkan limbah budidaya (Bambaranda *et al.*, 2019). Selain itu, limbah padat udang windu dapat dimanfaatkan sebagai pupuk untuk memenuhi kebutuhan nutrisi *C. lentillifera* (Saputra *et al.*, 2017). Hal ini memberikan dasar yang semakin memperkuat potensi ko-kultur udang windu dengan *C. lentillifera*.

Jika *C. lentillifera* sebagai organisme sesil ingin berhasil dikultur bersama udang windu yang hidup di dasar, maka posisinya harus tepat agar mendapat nutrisi maksimal. Posisi tanam juga sangat terkait dengan penetrasi cahaya matahari untuk fotosintesis (Iskandar *et al.*, 2015; Stuthmann *et al.*, 2021; Sunaryo *et al.*, 2015). Sepengetahuan penulis, sampai saat ini belum ada dokumentasi ilmiah yang menyelidiki posisi penanaman anggur laut dalam sistem ko-kultur dengan udang windu di tambak tradisional. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan posisi penanaman yang tepat dari *C. lentillifera* yang dikultur bersama dengan udang windu. Hasil studi dapat memberikan informasi praktis untuk kemungkinan penerapan sistem ini dalam skala besar, yang akan mendorong pengembangan model ko-kultur yang ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk anggur laut dan udang windu

MATERI DAN METODE

Uji coba lapangan dilakukan pada bulan Juli hingga Agustus 2021 di salah satu tambak tradisional masyarakat di Desa Mallari, Kecamatan Awangpone, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan (koordinat 4°28'10.0" Lintang Selatan dan 120°22'33.5" Bujur Timur). Sebuah hapa berukuran 1 x 1 m (ukuran mata jaring 6 mm) digunakan sebagai wadah pemeliharaan udang windu (**Gambar 1a**). Sementara itu, sejenis nampan (*tray*) berukuran 25 x 25 cm dari pipa PVC 1 inci dan kasa plastik 0,5 inci digunakan sebagai wadah untuk anggur laut (**Gambar 1b**). Nampan yang digunakan mengikuti model yang telah banyak diaplikasikan pada beberapa penelitian anggur laut sebelumnya (Perryman *et al.*, 2017; Rabia, 2016; Stuthmann *et al.*, 2021).



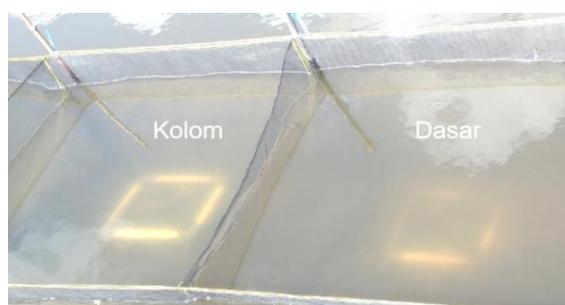
Gambar 1. Konstruksi wadah pemeliharaan: (a) hapa, (b) nampan

Penyiapan tambak seluas ± 300 m² mengikuti praktik standar pemilik tambak. Lumpur diangkat dan tambak dibiarkan kering selama dua hari sampai kondisi macak-macak. Perbaikan pematang dilakukan selama masa pengeringan. Setelah kering, 120 kg kapur (CaO) ditebar di dasar tambak untuk meningkatkan ketersediaan mineral dan pH tanah. Tiga hari kemudian diberikan 250 kg pupuk organik untuk merangsang produksi pakan alami. Keesokan harinya, saat air pasang, tambak diisi air sedalam 30 cm dan diberi saponin 5 kg untuk membasmi hama. Dua hari kemudian, air ditambahkan hingga kedalaman 85 cm dan kemudian pemupukan tambahan 100 kg. Tambak dibiarkan selama 5 hari untuk memastikan ketersediaan pakan alami dan selama masa tersebut dilakukan pemasangan konstruksi hapa.

Juvenil udang windu berbobot awal $2,14 \pm 0,11$ g diperoleh dari unit penggelondongan masyarakat di Kabupaten Takalar, sedangkan *C. lentillifera* didapatkan dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Takalar. Udang setelah diadaptasikan 7 hari ditebar sebanyak 20 ekor per hapa. Begitu pula setelah masa adaptasi, anggur laut bobot $150,09 \pm 0,27$ kg diletakkan di atas nampan (**Gambar 2**). Anggur laut selanjutnya dimasukkan ke dalam hapa pada dua posisi tanam sebagai perlakuan, yaitu di dasar tambak (kedalaman 85 cm) dan lepas dasar (kolom) (kedalaman 50 cm) (**Gambar 3**). Dengan demikian, udang windu pada studi ko-kultur ini menerima perlakuan posisi penanaman anggur yang berbeda. Dua kedalaman tanam anggur laut dengan 10 ulangan ini didesain dengan penempatan wadah secara acak.



Gambar 2. Anggur laut dalam nampan



Gambar 3. Nampan dalam hapa

Selama 35 hari pemeliharaan, udang windu tidak diberikan pakan buatan untuk mempertahankan tipikal tambak tradisional. Bobot basah anggur laut dan udang windu diukur setiap 7 hari menggunakan timbangan elektronik WH-B28 (akurasi 0,01 g). Anggur laut diukur secara keseluruhan (sampling total), sedangkan udang windu diambil sampelnya dari masing-masing hapa secara acak pada setiap perlakuan sebanyak 30% dari populasi (Sugiyono, 2014).

Parameter kualitas air meliputi: salinitas, oksigen terlarut, suhu, pH, dan kecerahan dipantau setiap hari secara insitu dengan

menggunakan Refractometer Atago 53T, DO meter Lutron-5509, pH meter Lutron PH-201 dan *secchi disk*. Konsentrasi Total Amonia Nitrogen (TAN) juga diukur pada penelitian ini. Contoh air menggunakan botol *sampel* 100 mL yang diambil pada pukul 15.00 saat suhu dan reaksi kimia senyawa pada titik tertinggi (Boyd & McNevin, 2015). Pengambilan, pengawetan, transportasi, dan analisis sampel dilakukan di awal, pertengahan, dan akhir penelitian mengikuti metode American Public Health Association (APHA, 2017).

Potensi ko-kultur anggur laut dan udang windu dievaluasi berdasarkan Laju Pertumbuhan

Spesifik (LPS) yang dikalkulasi berdasarkan persamaan Lalramchhani *et al.* (2020) berikut:

$$LPS (\%) = (\ln W_t - \ln W_o / t) \times 100\%$$

Keterangan: LPS adalah Laju pertumbuhan spesifik (%/hari), W_t adalah bobot akhir (g), W_o adalah bobot awal (g), dan t adalah lama pemeliharaan (hari).

Selain itu, potensi ko-kultur juga ditinjau dari aspek Efisiensi Reduksi Nutrien (ERN) berdasarkan total ammonia nitrogen (TAN). ERN dan ditentukan menurut persamaan (Pham & Bui, 2020) berikut:

$$ERN (\%) = (C_o - C_t) / C_o \times 100\%$$

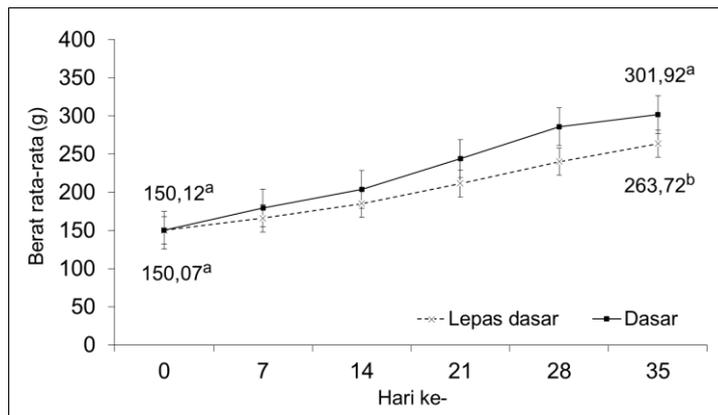
Keterangan: ERN adalah Efisiensi reduksi nutrien (%), C_o adalah konsentrasi awal TAN, dan C_t adalah konsentrasi akhir TAN.

Data hasil kalkulasi LPS masing-masing perlakuan dan EPN pada awal, pertengahan, dan akhir penelitian kemudian dibandingkan dengan menggunakan *t-test independent*. Uji statistik ini dikonfirmasi pada tingkat signifikansi 95% ($p < 0,05$) menggunakan IBM

SPSS Statistik 25. Sementara itu, data kualitas air secara deskriptif dibandingkan dengan kisaran optimal untuk pertumbuhan udang windu dan anggur laut berdasarkan referensi.

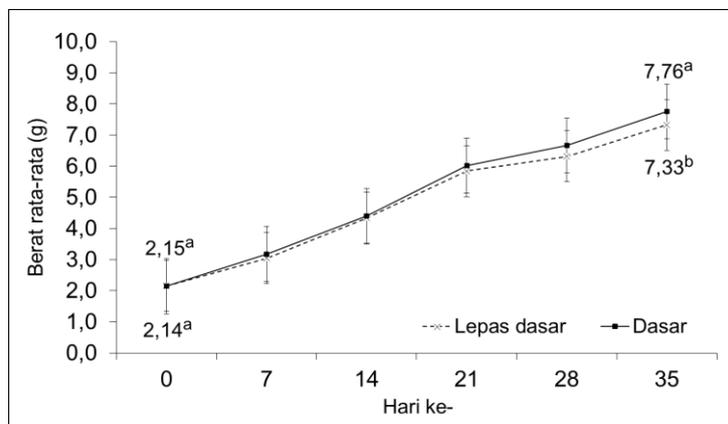
HASIL DAN PEMBAHASAN Pertumbuhan

Gambar 4 dan 5 menunjukkan bobot rata-rata *C. lentilifera* dan udang windu yang diukur setiap 7 hari selama 35 hari pemeliharaan. Kecenderungan bobot kedua spesies ini meningkat secara proporsional dengan waktu pemeliharaan yang mengindikasikan adanya pertumbuhan. Konsep penggunaan energi menyatakan bahwa kebutuhan basal untuk metabolisme harus dipenuhi terlebih dahulu dan jika ada kelebihan dialokasikan untuk pertumbuhan (Weidner *et al.*, 2020). Terkait dengan konsep ini, nutrien yang tersedia di tambak tradisional pada studi ini, baik di dasar maupun di lepas dasar tampaknya melebihi kebutuhan basal *C. lentilifera* dan udang windu yang dikonfirmasi oleh kinerja pertumbuhan dari kedua spesies ko-kultur.



Keterangan: Superskrip yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$)

Gambar 4. Bobot rata-rata mingguan anggur laut pada posisi tanam berbeda



Keterangan: Superskrip yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$)

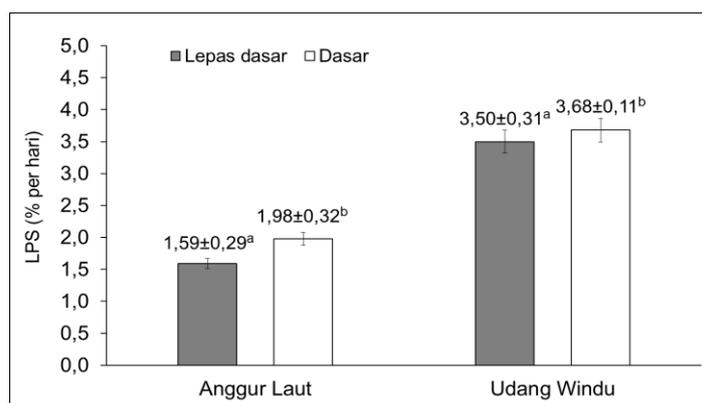
Gambar 5. Bobot rata-rata mingguan udang windu pada posisi tanam anggur laut berbeda

Pada studi yang dilakukan di tambak tradisional ini, udang windu tidak diberi pakan, namun ketersediaan nutrisi berupa pakan alami memungkinkan tumbuh dari hasil pemupukan selama persiapan tambak (Amin & Hendrajat, 2012). Pupuk organik berbahan dasar kotoran sapi diketahui mengandung nutrisi, seperti bahan organik 59,9-61,5%, total nitrogen 2,0-2,1%, dan fosfor 1,0-1,2% (Rajanna et al., 2021). Nutrisi organik ini akan terurai menjadi bahan anorganik yang dapat diserap oleh fitoplankton yang tumbuh di tambak. Selanjutnya, fitoplankton ini dikonsumsi oleh berbagai zooplankton, seperti kopepoda, nematoda, larva gastropoda, larva bivalvia, dan spesies lain yang menjadi makanan alami udang windu (Abualreesh, 2021; Amin & Hendrajat, 2012; Hong & Tew, 2022).

Bahan organik pada kotoran sapi juga dapat mempercepat perkembangan populasi bakteri melalui dekomposisi (Sugra et al., 2003). Bakteri sangat penting dalam proses penguraian bahan organik (nitrifikasi) (Nederlof

et al., 2021). Bahan organik yang terurai menjadi bentuk anorganik, seperti amonium (NH_4), nitrit (NO_2), nitrat (NO_3), dan ortofosfat (PO_4), kemudian dapat diserap oleh rumput laut untuk pertumbuhannya (Reid et al., 2020). Selain itu, sebagai omnivora, *C. lentillifera* memungkinkan menjadi makanan udang windu (Putra et al., 2019; Tsutsui et al., 2010)

Gambar 4 dan **5** menunjukkan bahwa pada awalnya anggur laut dan udang windu ditebar pada bobot yang tidak berbeda secara signifikan ($p > 0,05$). Namun, setelah 35 hari bobot rata-rata anggur laut windu di dasar tambak secara signifikan ($p < 0,05$) lebih besar dibandingkan di lepas dasar. Demikian pula bobot udang windu secara signifikan ($p < 0,05$) lebih besar jika dikokultur dengan anggur laut pada posisi di dasar dibandingkan di lepas dasar. Performa bobot awal dan akhir kedua spesies ini berkonsekuensi terhadap Laju Pertumbuhan Spesifik (LPS) dengan pola yang identik dengan bobot akhir (**Gambar 6**).



Keterangan: Superskrip yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$)

Gambar 6. LPS anggur laut dan udang windu

Uji statistik menunjukkan bahwa pertumbuhan *C. lentillifera* secara signifikan ($p < 0,05$) lebih cepat di dasar dibandingkan di lepas dasar (**Gambar 6**). Hasil serupa diamati dalam studi monokultur di perairan laut oleh Tanduyan et al. (2013), *C. lentillifera* tumbuh lebih cepat di dasar daripada di pertengahan perairan. Alasan yang paling mungkin untuk perbedaan pertumbuhan *C. lentillifera* pada studi ini adalah performa pemanfaatan nutrisi. Udang windu hidup di dasar perairan, sehingga pelepasan nutrisi oleh spesies ini, seperti feses, urin, dan produk respirasi (Wang et al., 2012) terjadi di dasar perairan. Perlu digarisbawahi, meskipun tidak mendapat pakan buatan, tetapi udang windu tetap mengeluarkan feses saat memakan pakan alami. Selain itu, pada studi ini pergerakan air didalam tambak relatif lambat, sehingga aktivitas transportasi nutrisi mungkin rendah. Aliran air diketahui mempengaruhi

efisiensi serapan hara oleh rumput laut (Azad et al., 2017). Oleh karena itu logis untuk menduga bahwa *C. lentillifera* yang ditanam di dasar tambak lebih cepat dan menerima lebih banyak nutrisi untuk pertumbuhan daripada di lepas dasar perairan.

Pada studi ini, anggur laut yang ditempatkan di lepas dasar menerima lebih banyak cahaya matahari dibandingkan di dasar tambak sehingga memungkinkannya berfotosintesis dan tumbuh lebih baik. Namun, sifat habitat bentik *C. lentillifera* sensitif terhadap radiasi tinggi dan mekanisme adaptasinya adalah mengurangi kandungan klorofil yang dapat mempengaruhi kinerja fotosintesis (Guo et al., 2015). Hal ini mungkin alasan lain untuk pertumbuhan yang lebih baik di dasar tambak. *C. lentillifera* di dasar perairan diamati masih menerima paparan cahaya matahari karena

lokasi tambak yang relatif terbuka (**Gambar 3**). Pengamatan ini dikonfirmasi juga oleh pengukuran kecerahan setinggi kedalaman air tambak (85 cm). Rumput laut diketahui terus tumbuh dengan baik sampai kedalaman tertentu selama cahaya matahari untuk sumber energi dan aktivitas fotosintesis mencapainya (Nursidi *et al.*, 2017).

Sejauh ini, belum ada studi yang mengkaji posisi penanaman anggur laut dalam sistem ko-kultur di tambak. Namun beberapa studi skala laboratorium telah melaporkan bahwa *C. lentillifera* tumbuh $1,86 \pm 0,12\%$ per hari dalam kolom tangki yang dikultur 84 hari bersama teripang pasir dan siput yang diberi pakan Dobson *et al.* (2020). Studi Ly *et al.* (2021) melaporkan bahwa selama 52 hari dalam kolom tangki bersama udang vaname yang diberi pakan, *C. lentillifera* tumbuh per hari $0,71-1,10\%$. Sementara itu, *C. lentillifera* dalam kolom tangki yang dikultur dengan siput laut tumbuh antara $1,70-1,92\%$ per hari selama 120 hari (Chaitanawisuti *et al.*, 2011). Pada studi ini, ko-kultur *C. lentillifera* dengan udang windu selama 35 hari di tambak tradisional tumbuh per hari $1,59 \pm 0,31\%$ untuk didasar dan $1,98 \pm 0,30\%$ untuk di lepas dasar, relatif tidak berbeda jauh dari hasil studi yang disebutkan di atas. Namun perlu dicatat bahwa tidak ada pakan buatan yang digunakan pada studi ini sehingga mengarah pada budidaya sistem biaya rendah yang merupakan pertimbangan penting bagi pembudidaya tradisional.

Performa pertumbuhan anggur laut *C. lentillifera* pada sistem monokultur juga telah dipublikasikan secara luas. Sebuah studi 45 hari oleh Anh *et al.* (2020) mengamati pertumbuhan *C. lentillifera* sebesar $2,00 \pm 0,09\%$ per hari di dasar tambak. Hasil yang sama dilaporkan oleh Iskandar *et al.* (2015) ($2,09 \pm 0,11\%$), tetapi lama pemeliharaan 35 hari. Sementara itu, Novianti *et al.* (2015) menemukan pertumbuhan harian *C. lentillifera* sebesar $1,85 \pm 0,11\%$ di permukaan tambak. Dibandingkan dengan hasil di atas, hasil studi ini menunjukkan bahwa ko-kultur *C. lentillifera* dan udang windu di tambak tradisional tumbuh tidak jauh berbeda dengan sistem monokultur. Sebuah indikasi manfaat ekonomis berupa biota tambahan udang windu dari sistem ko-kultur di tambak tradisional tanpa menghambat pertumbuhan anggur laut telah ditunjukkan pada hasil studi ini.

Pertumbuhan *C. lentillifera* yang lebih cepat di dasar tambak nampaknya mempengaruhi udang windu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa udang windu secara signifikan ($p < 0,05$),

tumbuh lebih cepat ketika *C. lentillifera* ditanam di dasar dibandingkan dengan di lepas dasar (**Gambar 6**). Perbedaan ini mungkin karena udang windu hidup di dasar yang memakan *C. lentillifera*. Meskipun preferensi makanan untuk juvenil udang windu terhadap *C. lentillifera* belum dilaporkan, tetapi karena karakteristik omnivora dari udang windu, maka fenomena ini dapat dikaitkan dengan efek grazing udang windu pada *C. lentillifera*. Perlu digaribawahi bahwa udang windu dapat memakan langsung rumput laut *Chaetomorpha ligustica* dan *Gracilaria tenuistipitata*, bahkan ketika diberikan pakan buatan (Anh *et al.*, 2018; Tsutsui *et al.*, 2010). Studi Putra *et al.* (2019) menunjukkan bahwa penambahan tepung anggur laut *C. lentillifera* pada pakan buatan memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan udang windu. Untuk *C. lentillifera*, (Ly *et al.*, 2021) melaporkan dapat dimakan langsung oleh udang vaname. Ini semakin menguatkan efek grazing udang windu terhadap *C. lentillifera*, namun penelitian lebih lanjut penting untuk membuktikan asumsi ini.

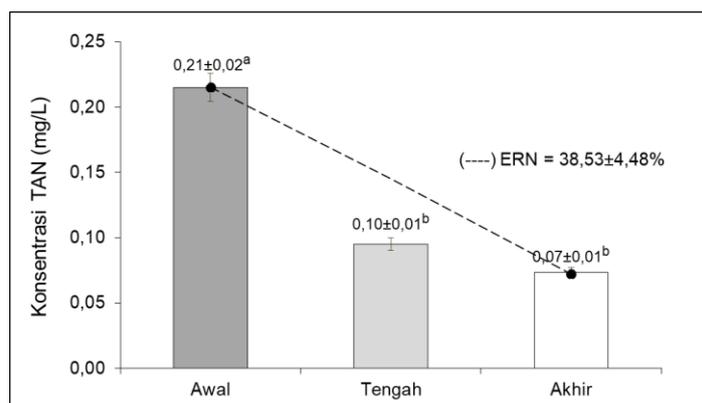
Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa udang windu tanpa pakan buatan yang dikultur dengan *C. lentillifera* di tambak tradisional selama 35 hari, tumbuh sebesar $3,68 \pm 0,11\%$ dan $3,50 \pm 0,31\%$ per hari. Dibandingkan dengan penelitian serupa tanpa pemberian pakan buatan, hasil studi ini relatif lebih tinggi. Anh *et al.* (2018), misalnya, memelihara dengan *Gracilaria tenuistipitata* di permukaan bak selama 60 hari, memperoleh pertumbuhan harian udang windu $2,39 \pm 0,10\%$. Angka ini relatif lebih rendah dibandingkan dengan pertumbuhan harian udang vaname yang dikultur bersama *C. lentillifera* di kolom bak selama 56 hari, yaitu sebesar $1,19 \pm 0,33\%$ (Anh *et al.*, 2021). Namun perlu diakui bahwa hasil yang lebih tinggi ketika pakan buatan diaplikasikan. Udang windu yang dikultur bersama dengan *Gracilaria verrucosa* pada skala laboratorium selama 28 hari dengan pemberian pakan 5%, tumbuh $5,68 \pm 0,04\%$ per hari (Amalia *et al.*, 2022). Demikian pula udang vaname dengan *C. lentillifera* yang dikultur bersama di kolom tangki dengan pemberian pakan 10% selama 30 hari, tumbuh $6,67 \pm 0,08\%$ per hari (Ly *et al.*, 2021).

Temuan penting dari aspek pertumbuhan dalam studi ini adalah performa pertumbuhan kedua spesies ini tetap sejalan dengan tingkat pertumbuhan yang diharapkan pada sistem ko-kultur. Hal ini mengindikasikan adanya potensi pengembangan ko-kultur *C. lentillifera* dan udang windu di tambak tradisional yang memungkinkan tanpa penggunaan pakan

buatan. Potensi ini semakin penting ditengah sorotan penggunaan pakan buatan sebagai pemicu sumber utama limbah organik dan anorganik di tambak (Nederlof et al., 2021). Lebih dari itu, pakan buatan memerlukan biaya tinggi yang diketahui adalah faktor yang membatasi pembudidaya tradisional. Selain itu, penggunaan anggur laut dalam sistem ko-kultur dapat menyediakan substrat dan tempat persembunyian bagi udang sehingga dapat meminimalkan efek buruk kanibalisme selama periode moulting (Ly et al., 2021).

Efisiensi Reduksi Nutrien (ERN)

Pada studi ini, anggur laut dan udang windu dipelihara dalam unit yang saling berhubungan. Oleh karena itu, ERN dihitung berdasarkan waktu pengukuran (awal, tengah dan akhir) untuk memberikan gambaran umum dinamika nutrien sistem ko-kultur. ERN dihitung berdasarkan konsentrasi TAN sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Keterangan: Superskrip yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$)

Gambar 7. Konsentrasi dan ERN TAN

Keberadaan konsentrasi TAN (NH_3 dan NH_4) pada awal studi mungkin merupakan residu dari kegiatan budidaya ikan bandeng sebelumnya yang tidak sepenuhnya hilang selama persiapan tambak. Selain itu, sumber NH_3 dan NH_4 diduga terbawa pada saat pemasukan air di tambak. Namun, seiring dengan berjalannya pemeliharaan, konsentrasi TAN menurun secara signifikan ($p < 0,05$) dipertengahan penelitian dan selanjutnya cenderung stabil sampai pada akhir penelitian (**Gambar 7**). Beberapa studi membuktikan bahwa *C. lentillifera*, baik pada sistem monokultur maupun ko-kultur dapat menjaga kualitas air yang baik melalui penyerapan bahan organik dan anorganik (Anh et al., 2021; Liu et al., 2016; Ly et al., 2021). Hal ini terbukti melalui ERN dari kelompok senyawa TAN pada akhir studi menurun dan tereduksi sebesar $38,53 \pm 4,48\%$.

Temuan penting dari aspek reduksi nutrien dalam studi ini adalah ko-kultur *C. lentillifera* dan udang windu secara nyata menurunkan amoniak sebagai senyawa yang memberikan efek paling buruk pada budidaya udang (Anh et al. (2018). Tingkat amonia yang tinggi dalam sistem budidaya dapat berbahaya bagi udang peneaid dengan efek buruk seperti berkurangnya pertumbuhan dan tingkat kelangsungan hidup (Ly et al., 2021). Hasil

kalkulasi reduksi amonia pada studi ini semakin mengindikasikan potensi ko-kultur *C. lentillifera* dan udang windu di tambak tradisional. Selain mampu memfasilitasi penyerapan limbah nitrogen, anggur laut *C. lentillifera* juga memiliki persyaratan habitat yang sederhana dan tingkat pertumbuhan yang tinggi menjadikannya ideal untuk integrasi ke dalam sistem akuakultur berbasis tambak (Dobson et al., 2020).

Kualitas air

Pertumbuhan organisme akuatik pada semua siklus hidupnya diketahui sangat dipengaruhi oleh kualitas air sebagai media hidupnya (Boyd & McNevin, 2015). Berdasarkan referensi, *C. lentillifera* tumbuh optimal pada salinitas 25-30 ppt dan suhu 25-30°C dan masih hidup pada salinitas antara 20-50 ppt (Chen et al., 2019; Guo et al., 2015). Kisaran pH yang mendukung pertumbuhan *C. lentillifera* antara 7,7-8,5 (Azis et al., 2019). Sementara itu, salinitas, oksigen terlarut, dan pH yang kondusif bagi udang windu di tambak adalah kisaran 20-32 ppt, >3 mg/L, dan 7,5-8,5 (Pantjara et al., 2021) dan suhu 26-32°C (Mustafa et al., 2021).

Selama periode ko-kultur, kisaran salinitas, suhu, oksigen terlarut, dan pH harian antara 20,3-25,4 ppt, 26,1-29,9°C, 3,5-3,9 mg/L, dan 7,9-8,1. Nilai terendah untuk setiap parameter

diperoleh saat terjadi hujan pada minggu terakhir penelitian. Namun, kisaran semua parameter kualitas air diatas konduktivitas bagi *C. lentillifera* dan udang windu sehingga diasumsikan bukan menjadi faktor yang mempengaruhi kinerja pertumbuhan kedua spesies pada studi ini.

KESIMPULAN DAN SARAN

Studi ini adalah yang pertama menilai ko-kultur anggur laut dan udang windu di tambak tradisional. Walaupun studi yang telah dilakukan ini masih terbatas, namun hasil penelitian memberikan indikasi positif terhadap potensi pengembangan sistem ko-kultur ini, khususnya pada aspek pertumbuhan dan reduksi nutrisi yang diamati. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, saat ini disarankan menanam *C. lentillifera* di dasar tambak yang dikultur bersama dengan udang windu. Penilaian lebih lanjut dari potensi ini harus dilakukan dalam skala yang lebih besar untuk menentukan praktik yang optimal dari sistem ko-kultur anggur laut *C. lentillifera* dan udang windu ditambak tradisional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pemilik tambak tradisional tempat penelitian ini dilakukan atas dukungannya mulai persiapan hingga akhir penelitian. Penulis mengapresiasi kepada pihak lain yang telah membantu pelaksanaan dan publikasi hasil dari studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

Abualreesh, M. H. (2021). Biodiversity and contribution of natural foods in tiger shrimp (*Penaeus monodon*) aquaculture pond system: A review. *AACL Bioflux*, 14(3), 1715–1726.

Amalia, R., Rejeki, S., Widowati, L. L., & Ariyati, R. W. (2022). The growth of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and its dynamics of water quality in integrated culture. *Biodiversitas*, 23(1), 593–600.

Amin, M., & Hendrajat, E. H. (2012). Penggunaan pupuk organik kototran sapi pada budidaya udang windu, *Penaeus monodon* dengan dosis pupuk berbeda. *Semnas Tahunan IX Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan*, 2012, 1–6.

Anh, N. T., Hong Ngan, L. T., Vinh, N. H., & Hai, T. N. (2018). Co-culture of red seaweed (*Gracilaria tenuistipitata*) and black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) with different feeding rations. *Inter.national Journ. of Sci. & Res. Pub. (IJSRP)*, 8(9),

269-277.

Anh, N. T. N., Shayo, F. A., Nevejan, N., & Van Hoa, N. (2021). Effects of stocking densities and feeding rates on water quality, feed efficiency, and performance of white leg shrimp *Litopenaeus vannamei* in an integrated system with sea grape *Caulerpa lentillifera*. *Journal of Applied Phycology*, 33(5), 3331–3345.

Anh, N. T. N., Thong, L. Van, Lam, N. P., Lien, T. T. K., & Hoa, N. Van. (2020). Effects of water levels and water exchange rates on growth and production of sea grape *Caulerpa lentillifera* J. Agardh 1837. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 8(3), 211–216.

APHA. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association.

Ariyati, R. W., Rejeki, S., Widowati, L. L., Elfitasari, T., & Bosma, R. H. (2019). Effect of three types of liquid compost combined with *Avicennia marina* leaves on growth and survival of tiger prawns (*Penaeus monodon*). *International Aquatic Research*, 11(4), 311–321.

Azad, A. S., Estim, A., Mustafa, S., & Sumbing, M. V. (2017). Assessment of nutrients in seaweed tank from land based Integrated Multitrophic Aquaculture Module. *J. of Geoscience & Environment Protection*, 05(08), 137–147.

Azis, H. Y., Karim, M. Y., Amri, K., & Hasbullah, D. (2019). Productivity of several *Caulerpa* species grown in fishponds. *Advances in Agriculture & Botany*, 11(1), 21–24.

Bambaranda, B. V. A. S. M., Tsusaka, T. W., Chirapart, A., Salin, K. R., & Sasaki, N. (2019). Capacity of *Caulerpa lentillifera* in the removal of fish culture effluent in a recirculating aquaculture system. *Processes*, 7(7), 1–15.

Boyd, C. E., & McNevin, A. A. (2015). *Aquaculture, Resource Use, and the Environment*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Chaitanawisuti, N., Santhaweesuk, W., & Kritsanapuntu, S. (2011). Performance of the seaweeds *Gracilaria salicornia* and *Caulerpa lentillifera* as biofilters in a hatchery scale recirculating aquaculture system for juvenile spotted babylons (*Babylonia areolata*). *Aquaculture International*, 19(6), 1139–1150.

Chen, X., Sun, Y., Liu, H., Liu, S., Qin, Y., & Li, P. (2019). Advances in cultivation, wastewater treatment application, bioactive components of *Caulerpa lentillifera* and their biotechnological

- applications. *PeerJ*, 2019(1), 1–15.
- Dobson, G. T., Duy, N. D. Q., Paul, N. A., & Southgate, P. C. (2020). Assessing potential for integrating sea grape (*Caulerpa lentillifera*) culture with sandfish (*Holothuria scabra*) and Babylon snail (*Babylonia areolata*) co-culture. *Aquaculture*, 522(February), 735153.
- Fierro-Sañudo, J. F., Rodríguez-Montes de Oca, G. A., & Páez-Osuna, F. (2020). Co-culture of shrimp with commercially important plants: a review. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2411–2428.
- Guo, H., Sun, Z., & Duan, D. (2015). Effect of temperature, irradiance on the growth of the green alga *Caulerpa lentillifera* (Bryopsidophyceae, Chlorophyta). *J. Appl. Phycol.*, 24, 879–885.
- Herawati, V. E., Pinandoyo, Ariyati, R. W., Rismaningsih, N., Windarto, S., Prayitno, S. B., Darmanto, Y. S., & Radjasa, O. K. (2021). Effects of *Caulerpa lentillifera* added into culture media on the growth and nutritional values of phronima pacifica, a natural fish-feed crustacean. *Biodiversitas*, 22(1), 424–431.
- Heriansah, Nursyahrhan, Nursidi, Nursida, N. F., & Najamuddin. (2021). Practical application of sea urchin shell flour supplementation as a stimulant moulting in vannamei shrimp. *DEPIK Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir Dan Perikanan*, 10(2), 107–114.
- Hong, G., & Tew, K. S. (2022). The advantages of inorganic fertilization for the mass production of copepods as food for fish larvae in aquaculture. *Life*, 12(441), 1–13.
- Iskandar, S. N., Rejeki, S., & Susilowati, T. (2015). Pengaruh bobot awal yang berbeda terhadap pertumbuhan *Caulerpa lentillifera* yang dibudidayakan dengan metode longline di tambak bandengan, Jepara. *J. of Aquaculture Management and Technology*, 4(4), 21–27.
- Lalramchhani, C., Paran, B. C., Shyne Anand, P. S., Ghoshal, T. K., Kumar, P., & Vijayan, K. K. (2020). Integrated rearing system approach in the farming of mud crab, shrimp, fish, oyster and periphyton in brackishwater pond. *Aquaculture Research*, 51(10), 4165–4172.
- Lapong, I., Paul, N., & Reza, A. (2019). Characterization of sea grapes (*Caulerpa lentillifera*) from Vietnamese company's products. *Marina C. Acta*, 20(2), 51–57.
- Liu, H., Wang, F., Wang, Q., Dong, S., & Tian, X. (2016). A comparative study of the nutrient uptake and growth capacities of seaweeds *Caulerpa lentillifera* and *Gracilaria lichenoides*. *Journal of Applied Phycology*, 28(5), 3083–3089.
- Ly, K. Van, Murungu, D. K., Nguyen, D. P., & Nguyen, N. A. T. (2021). Effects of different densities of sea grape *Caulerpa lentillifera* on water quality, growth and survival of the whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* in Polyculture System. *Fishes*, 6(2), 19.
- Mustafa, A. A., Asaad, A. I. J., & Linthin, D. (2021). Performa budidaya udang windu (*Penaeus monodon*) pada musim kemarau di tambak Kecamatan Marusu Kabupaten Maros. *Media Akuakultur*, 16(1), 45-56.
- Nederlof, M. A. J., Verdegem, M. C. J., Smaal, A. C., & Jansen, H. M. (2021). Nutrient retention efficiencies in integrated multi-trophic aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, October, 1–19.
- Novianti, D., Rejeki, S., & Susilowati, T. (2015). Pengaruh bobot awal yang berbeda terhadap pertumbuhan rumput laut latoh yang dibudidayakan didasar tambak, Jepara. *Journal of Aquaculture Management and Technology*, 4(4), 67–63.
- Nursidi, Mauli, & Heriansah. (2017). Development of seaweed *Kappaphycus alvarezii* cultivation through vertical method in the water of small islands in South Sulawesi, Indonesia. *AACL Bioflux*, 10(6), 1428–1435.
- Pantjara, B., Suwoyo, H. S., & Rusdi, I. (2021). The production of tiger prawn (*Penaeus monodon*) juveniles using the hapas on brackishwater pond in Sidoarjo Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 860(1).
- Perryman, S. E., Lapong, I., Mustafa, A., Sabang, R., & Rimmer, M. A. (2017). Potential of metal contamination to affect the food safety of seaweed (*Caulerpa* spp.) cultured in coastal ponds in Sulawesi, Indonesia. *Aquaculture Reports*, 5, 27–33.
- Pham, T. L., & Bui, M. H. (2020). Removal of Nutrients from Fertilizer plant wastewater using *Scenedesmus* sp.: Formation of biofloculation and enhancement of removal efficiency. *Journal of Chemistry*, 8094272, 1-9.
- Putra, D. F., Rahmawati, M., Abidin, M. Z., & Ramlan, R. (2019). Dietary administration of sea grape powder (*Caulerpa lentillifera*) effects on growth and survival rate of black tiger shrimp

- (*Penaeus monodon*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 348(1).
- Rabia, M. D. S. (2016). Cultivation of *Caulerpa lentillifera* using tray and sowing methods in brackishwater pond. *Environmental Sciences*, 4(1), 23–29.
- Rajanna, C., Shivakumar, M., & Murthy, H. S. (2021). Effect of organic manures on plankton production. *J. Exp. Zool. India*, 24(2), 1245–1252.
- Reid, G. K., Lefebvre, S., Filgueira, R., Robinson, S. M. C., Broch, O. J., Dumas, A., & Chopin, T. B. R. (2020). Performance measures and models for open-water integrated multi-trophic aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(1), 47–55.
- Saputra, N. R. M., Sukoso, S., & Kartikaningsih, H. (2017). A solid waste pond tiger shrimp (*Peneaus monodon*) as fertilizer for *Caulerpa lentillifera*. *The Journal of Experimental Life Sciences*, 7(1), 17–21.
- Stuthmann, L. E., Springer, K., & Kunzmann, A. (2021). Cultured and packed sea grapes (*Caulerpa lentillifera*): effect of different irradiances on photosynthesis. *Journal of Applied Phycology*, 33(2), 1125–1136.
- Sughra, F., Ahmed, I., Kanwal, S., & Ateeq, U. (2003). Effect of different levels of cow dung on growth performance of major carps. *International Journal of Agriculture & Biology*, 5(2), 194–195.
- Sugiyono. (2014). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sunaryo, S., Ario, R., & AS, M. F. (2015). Studi tentang perbedaan metode budidaya terhadap pertumbuhan rumput laut *Caulerpa*. *J. Kel. Tropis*, 18(1), 13–19.
- Tanduyan, S. N., Gonzaga, R. B., & Bensig, V. D. (2013). Off bottom culture of *Caulerpa lentillifera* in three different water levels in the marine waters of San Francisco, Cebu, Philippines. *Galaxea, Journal of Coral Reef Studies*, 15(Supplement), 123–132.
- Tsutsui, I., Kanjanaworakul, P., Srisapoom, P., Aue-umneoy, D., & Hamano, K. (2010). Growth of giant tiger prawn, *Penaeus monodon* Fabricius, under co-culture with a discarded filamentous seaweed, *Chaetomorpha ligustica*, at an aquarium-scale. *Aquac. International*, 18(4), 545–553.
- Wang, X., Olsen, L. M., Reitan, K. I., & Olsen, Y. (2012). Discharge of nutrient wastes from salmon farms: Environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 2(3), 267–283.
- Wati, L. A. (2018). Analyzing the development of Indonesia shrimp industry Analyzing the development of Indonesia shrimp industry. *Asean-Fen International Fisheries Symposium – 2017*, 1–6.
- Weidner, J., Jensen, C. H., Giske, J., Eliassen, S., & Jørgensen, C. (2020). Hormones as adaptive control systems in juvenile fish. *Biology Open*, 9(2). bio046144.
- Zubia, M., Draisma, S. G. A., Morrissey, K. L., Varela-Álvarez, E., & De Clerck, O. (2020). Concise review of the genus *Caulerpa* J.V. Lamouroux. *Journal of Applied Phycology*, 32(1), 23–39.