

HUBUNGAN PRODUKTIVITAS PRIMER DENGAN TINGKAT PRODUKSI TAMBAK POLIKULTUR RUMPUT LAUT DENGAN UDANG DAN IKAN BANDENG: STUDI KASUS DI BREBES, JAWA TENGAH, INDONESIA

Lestari Lakhsmi Widowati[#], Novia Fitarani, Sri Rejeki, dan Restiana Wisnu Ariyati

Departemen Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jalan Prof. Jacob Rais, Kampus Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah

(Naskah diterima: 24 Januari 2023; Revisi final: 14 Mei 2024; Disetujui publikasi: 14 Mei 2024)

ABSTRAK

Produktivitas tambak dipengaruhi oleh produktivitas primer yang tergantung dari kesetimbangan dinamika suhu, salinitas, kandungan oksigen, fosfat, dan nitrat. Nilai produktivitas primer yang tinggi meningkatkan daya dukung lingkungan bagi pertumbuhan rumput laut, ikan bandeng, dan udang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan produktivitas primer terhadap produksi tambak polikultur dan membandingkan hasil produksi *Gracilaria* sp. pada tambak polikultur rumput laut dengan udang (RLU) dan rumput laut dengan ikan bandeng (RLB). Observasi selama 4 bulan dilakukan pada 10 tambak RLU dan 10 tambak RLB di Desa Randusanga Wetan, Kabupaten Brebes. Padat tebar ikan bandeng adalah 1-2 ekor m⁻², udang windu 10 ekor m⁻², dan rumput laut adalah 1 ton ha⁻¹. Dosis pakan udang 2% bobot tubuh per hari, sedangkan ikan bandeng hanya mengandalkan pakan alami berupa klekap yang tumbuh di tambak. Nilai produktivitas primer pada tambak RLB (112,17 ± 41,06 mgC m⁻³ hari⁻¹) dan RLU (105,39 ± 29,12 mgC m⁻³ hari⁻¹) tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan (P<0,05). Hubungan produktivitas primer dengan produksi *Gracilaria* sp. adalah cukup kuat, yaitu 76% pada polikultur dengan ikan bandeng, dan 61% pada polikultur dengan udang. Namun, korelasi produktivitas primer terhadap produksi ikan bandeng dan udang windu memiliki hubungan yang rendah (10%). Tambak RLB menghasilkan produksi *Gracilaria* sp. lebih tinggi (8.885 kg ha⁻¹ siklus⁻¹) dibandingkan dengan tambak RLU (7.203 kg ha⁻¹ siklus⁻¹). Pada budidaya polikultur dengan rumput laut, produksi ikan bandeng adalah 688 kg ha⁻¹ siklus⁻¹, dan produksi udang yaitu 593 kg ha⁻¹ siklus⁻¹. Produktivitas primer yang tinggi pada tambak polikultur rumput laut dengan ikan bandeng menghasilkan produksi *Gracilaria* sp. yang lebih tinggi dibanding tambak polikultur rumput laut dengan udang.

KATA KUNCI: *Gracilaria* sp.; polikultur; produksi tambak; produktivitas primer

ABSTRACT: *The Relationship of Primary Productivity with the Production Level of Seaweed Polyculture Ponds with Shrimp and Milkfish: A Case Study in Brebes, Central Java, Indonesia*

Pond productivity is influenced by primary productivity, which depends on the dynamic balance of temperature, salinity, oxygen, phosphate, and nitrate content. High primary productivity values increase the environmental carrying capacity for the growth of seaweed, milkfish, and

[#]Korespondensi: Departemen Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,
Universitas Diponegoro
Email: widowatiriri@gmail.com

shrimp. The aims of this study were to determine the relationship between primary productivity and production in polyculture ponds and compare the production results of *Gracilaria* sp. in polyculture ponds of seaweed with shrimp (RLU) and seaweed with milkfish (RLB). Observations were carried out during 4 months at 10 RLU ponds and 10 RLB ponds in Randusanga Wetan Village, Brebes Regency. The stocking density for was 1-2 fish m⁻² for milkfish, 10 shrimp m⁻² for tiger prawns and 1 ton ha⁻¹ for seaweed. The feed dose for shrimp was 2% of body weight per day, while milkfish only rely on natural food in the form of microphytobenthos available in the ponds. The primary productivity values in RLB ponds (112.17 ± 41.06 mgC m⁻³ day⁻¹) and RLU (105.39 ± 29.12 mgC m⁻³ day⁻¹) did not show significant differences (P<0.05). The correlation between primary productivity and *Gracilaria* sp. production is quite strong, which is 76% in polyculture with milkfish, and 61% in polyculture with shrimp. However, the correlation between primary productivity and milkfish and tiger prawn production is low (10%). The RLB ponds produced higher quantity of *Gracilaria* sp. (8,885 kg ha⁻¹ cycle⁻¹) compared to RLU ponds (7,203 kg ha⁻¹ cycle⁻¹). In polyculture with seaweed, milkfish production was 688 kg ha⁻¹ cycle⁻¹, and production of shrimp was 593 kg ha⁻¹ cycle⁻¹. High primary productivity in polyculture ponds of seaweed and milkfish resulted in a higher production of *Gracilaria* sp. compared to that of seaweed and shrimp polyculture ponds.

KEYWORDS: *Gracilaria* sp.; polyculture; pond production; primary productivity

PENDAHULUAN

Kabupaten Brebes merupakan salah satu sentral tambak polikultur dan memiliki potensi pengembangan budidaya air payau yang cukup tinggi. Luas lahan budidaya di Kabupaten Brebes pada tahun 2021 yaitu 9.052,96 ha (Badan Pusat Statistik, 2022). Komoditas yang telah dibudidayakan dengan sistem polikultur bervariasi di antaranya rumput laut dan ikan bandeng, rumput laut dan udang serta rumput laut, udang, dan ikan bandeng. Berdasarkan tiga komoditas tersebut, komoditas rumput laut merupakan salah satu komoditas yang paling banyak dibudidayakan. Keberadaan ikan bandeng dan udang dalam budidaya rumput laut diharapkan dapat meningkatkan hasil produksi tambak. Salah satu faktor untuk meningkatkan produksi adalah dengan menjaga kondisi lingkungan dan kualitas air serta kesuburan pada perairan tambak. Kondisi tambak polikultur rumput laut pada perairan Brebes merupakan tambak tradisional yang dapat dikatakan masih kurang diperhatikan produktivitas primer dan kualitas airnya. Kurangnya kegiatan *monitoring* kondisi lingkungan khususnya kualitas air

atau hanya bersifat temporer menyebabkan kurangnya informasi yang sangat diperlukan dalam keberlanjutan budidaya. Di samping itu, beberapa tambak terletak di dekat pemukiman penduduk sehingga diduga dapat memengaruhi daya dukung perairan untuk keberhasilan produksi tambak serta menurut persepsi pembudidaya di Desa Randusanga Wetan, bahwa hasil produksi tambak juga kurang stabil atau tidak menentu di setiap siklusnya.

Tingkat kesuburan perairan dapat diketahui berdasarkan produktivitas primer suatu perairan. Tingginya produktivitas primer pada perairan mengindikasikan bahwa perairan memiliki tingkat kesuburan yang baik dan dapat mendukung kehidupan organisme perairan secara berkelanjutan. Tingkat kesuburan perairan juga dapat diketahui berdasarkan kandungan nitrat dan fosfat. Secara umum di perairan, nitrat dan fosfat merupakan nutrisi terpenting yang dapat menentukan pertumbuhan rumput laut. Pertumbuhan rumput laut dapat tercapai dengan baik apabila kandungan nitrat dan fosfat pada perairan budidaya tercukupi, karena nitrat dan fosfat berperan dalam pengaturan metabolisme dan reproduksi (Nashrullah *et al.*, 2021).

Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui hubungan produktivitas primer terhadap produksi tambak dan membandingkan hasil produksi *Gracilaria* sp. pada tambak polikultur rumput laut dan ikan bandeng (RLB) dan polikultur rumput laut dan udang (RLU). Hasil evaluasi produksi tambak dengan budidaya polikultur yang ditinjau berdasarkan kualitas air dan produktivitas primer di Desa Randusanga Wetan diharapkan dapat membantu pembudidaya dalam mengoptimalkan pemanfaatan tambak dan memberikan kesadaran kepada masyarakat dan pembudidaya untuk dapat menjaga dan memelihara keadaan perairan pada tambak tersebut sehingga dapat menjamin kehidupan organisme perairan yang berkelanjutan.

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian di lapangan meliputi *global positioning system* (GPS), refraktometer, *water quality checker*, *digital* pH meter, botol sampel, dan *cool box*. Alat yang digunakan dalam penelitian di laboratorium adalah spektrofotometer untuk pengukur kandungan fosfat, nitrat, amoniak, dan klorofil-a berdasarkan panjang gelombang, erlenmeyer, corong, tabung reaksi, sentrifus, *cuvette*, dan gelas ukur. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel air payau yang berasal dari tambak yang diteliti, kertas saring *millipore*, aseton, *reagent* Nitra Ver 5, *reagent* Phos Ver 3, *reagent* Ammonia Salisilat, dan *reagent* Ammonia Cyanurate, serta es batu sebagai pendingin dalam *cool box*.

Lokasi Pengambilan Sampel dan *Sampling*

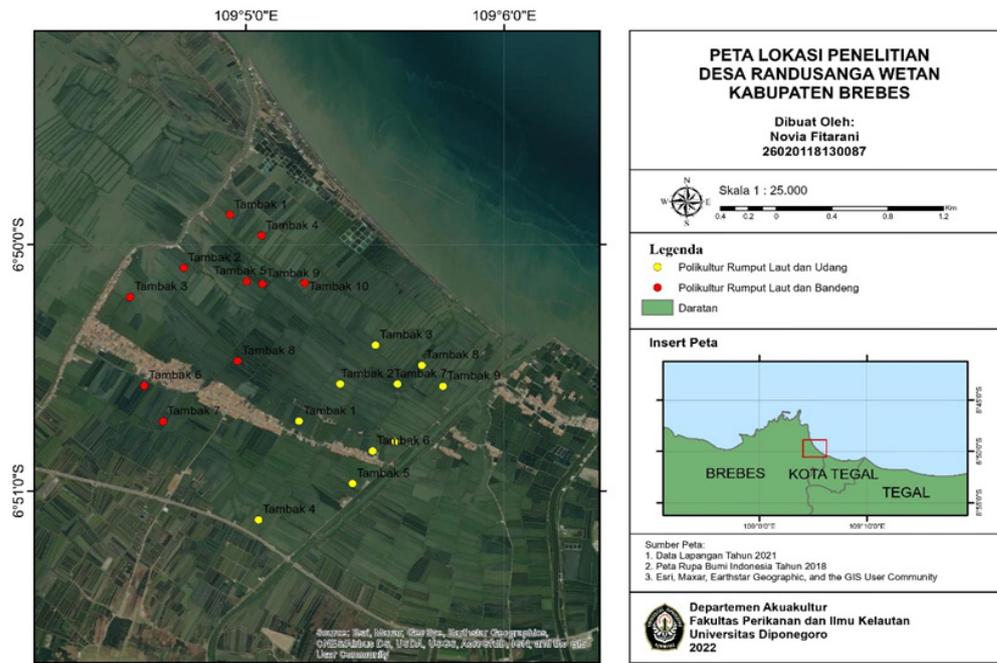
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi lapangan. Penentuan lokasi penelitian dan teknik pengambilan sampel menggunakan metode *clustered random sampling* yaitu sebuah metode penentuan

petak tambak secara acak terkelompok untuk mendapatkan gambaran lokasi penelitian secara keseluruhan sesuai dengan data yang dibutuhkan dari kondisi aktual di lapangan. Titik sampel yang digunakan sebanyak 20 titik yang meliputi 10 tambak polikultur *Gracilaria* sp. dan ikan bandeng (RLB) dan 10 tambak polikultur *Gracilaria* sp. dan udang windu (RLU) (Gambar 1), dengan titik koordinat dan luas area tambak diuraikan pada Tabel 1. Jumlah titik sampel ditentukan berdasarkan jumlah populasi tambak polikultur di desa tersebut yang diambil sebanyak 25% yang dianggap telah memenuhi syarat untuk pengambilan sampel sebagai perwakilan dari kawasan tersebut. Menurut Wijayanti *et al.* (2013), *clustered random sampling* merupakan metode *sampling* yang dilakukan secara terkelompok berdasarkan kondisi yang ada di lapangan sehingga setiap kasus atau elemen dalam populasi memiliki kesempatan yang sama besar untuk dipilih sebagai sampel penelitian.

Keadaan Umum Tambak dan Sistem Budidaya yang Dilakukan

Karakteristik tambak yang digunakan merupakan tambak tradisional dengan substrat tanah dan memiliki tekstur lempung berpasir. Kedalaman air rata-rata adalah 70-80 cm. Setiap tambak memiliki saluran masuk dan saluran keluar, yang digunakan untuk pergantian air sebanyak satu kali sehari, pada saat air pasang surut.

Sistem budidaya yang dilakukan adalah sistem tradisional plus, di mana padat tebar ikan bandeng yang digunakan adalah 1-2 ekor m^{-2} , sedangkan udang windu dibudidayakan dengan padat tebar 10 ekor m^{-2} , dan jumlah tebar rumput laut adalah 1 ton per ha. Pakan udang diberikan dengan dosis yang sangat rendah yaitu 1-2% bobot tubuh per hari, sedangkan ikan bandeng hanya mengandalkan pakan alami berupa klekap yang tumbuh di tambak.



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel (tambak polikultur rumput laut-ikan bandeng dan rumput laut-udang) di Desa Randusanga Wetan, Kabupaten Brebes, Jawa Tengah)

Figure 1. The map of sampling sites (seaweed-milkfish and seaweed-shrimp polyculture ponds) in Randusanga Wetan Village, Brebes Regency, Central Java)

Tabel 1. Koordinat dan luas area lokasi pengambilan sampel (tambak polikultur rumput laut-ikan bandeng dan rumput laut-udang) di Desa Randusanga Wetan, Kabupaten Brebes, Jawa Tengah)

Table 1. Geographical coordinates and land area of sampling sites (seaweed-milkfish and seaweed-shrimp polyculture ponds) in Randusanga Wetan Village, Brebes Regency, Central Java)

Tambak Pond	Polikultur rumput laut-ikan bandeng <i>Seaweed-milkfish polyculture</i>	Luas (Ha) Area (Ha)	Polikultur rumput laut-udang <i>Seaweed-shrimp polyculture</i>	Luas (Ha) Area (Ha)
1	-6.83132°LS 109.08231°BT	0,337	-6.845277 109.086771	0,290
2	-6.83491°LS 109.07933	0,673	-6.842762 109.089435	0,290
3	-6.83687°LS 109.07587	0,505	-6.840126 109.091706	0,436
4	-6.832737°LS 109.084344	0,337	-6.851941 109.084161	0,290
5	-6.835809°LS 109.083399	0,505	-6.849492 109.090226	0,145
6	-6.84287°LS 109.07678	0,337	-6.847289 109.091524	0,436
7	-6.845283°LS 109.077996	0,673	-6.842762 109.093140	0,145
8	-6.841200°LS 109.082812	0,337	-6.841494 109.094696	0,436
9	-6.835978°LS 109.084406	0,337	-6.842904 109.096069	0,290
10	-6.83593°LS 109.08713	0,673	-6.846631 109.092982	0,290

Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi data produksi tambak (hasil panen rumput laut kering, ikan bandeng, dan udang), produktivitas primer, dan kualitas air. Pengambilan data dilakukan setiap 2 minggu selama 4 bulan. Data produksi tambak diperoleh dengan menggunakan metode survei dan wawancara. Data produktivitas primer diketahui menggunakan rumus produktivitas primer Beveridge (1984), sedangkan data kualitas air diperoleh menggunakan metode observasi yaitu dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan dan pengambilan sampel air untuk dianalisis di laboratorium. Suhu, salinitas, pH dan DO di ukur secara *insitu* menggunakan *Water Quality Checker Multi Parameter*, sedangkan nitrat, fosfat, amoniak, dan klorofil-a dianalisis di laboratorium menggunakan spektrofotometer. Nilai produktivitas primer diperoleh dari konversi kandungan klorofil-a dengan rumus Beveridge (1984) yaitu:

$$PP \text{ (gC m}^{-3} \text{ hari}^{-1}) = 56,5 \times (\text{klorofil-a})^{0,61}$$

Analisis Data

Data yang dianalisis adalah data produksi tambak budidaya polikultur, kualitas air, dan produktivitas primer. Data produksi tambak dan produktivitas primer dianalisis menggunakan analisis korelasi yang dilanjutkan dengan analisis regresi linier untuk mengetahui ada atau tidaknya hubungan dan besarnya pengaruh antara produktivitas primer perairan terhadap produksi tambak. Data produksi *Gracilaria* sp. pada tambak polikultur RLB dan RLU dianalisis menggunakan *independent T-test*. Data kualitas air dianalisis secara deskriptif dengan mengevaluasi data dengan standar baku mutu air untuk kegiatan budidaya. Selanjutnya dilakukan analisis multi regresi antara nitrat dan ammonia dengan produktivitas primer, serta suhu, salinitas dan kandungan oksigen dengan produktivitas primer.

HASIL DAN BAHASAN

Kualitas Perairan

Hasil pengukuran kualitas air yaitu suhu, salinitas, pH, oksigen terlarut, nitrat, fosfat, amoniak, dan klorofil-a tersaji pada Tabel 2. Berdasarkan hasil pengukuran suhu pada tambak polikultur RLB menunjukkan kisaran suhu 28-30°C, sedangkan suhu pada tambak polikultur RLU menunjukkan kisaran 30-33°C. Kisaran suhu pada tambak polikultur RLU menunjukkan nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan tambak polikultur RLB. Ikan bandeng memiliki karakteristik sebagai perenang aktif dan menimbulkan proses agitasi yang menyebabkan suhu di RLB lebih rendah daripada di RLU. Terkait dengan budidaya polikultur pada tambak, *Gracilaria* sp. dapat tumbuh secara optimal pada kisaran suhu 20-28°C (Yulistiana *et al.* 2020). Pada suhu 30°C, rumput laut *Gracilaria* sp. masih dapat tumbuh, tetapi pertumbuhannya lambat (Yudiastuti *et al.*, 2018). Suhu yang layak untuk ikan bandeng adalah antara 28-32°C (Firmansyah *et al.*, 2021) dan suhu yang baik untuk pertumbuhan udang windu yaitu 29-31°C (Isnaini *et al.*, 2021). Menurut Lustianto *et al.* (2020), nilai suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan aktivitas pernafasan pada organisme di dalamnya berlangsung dengan cepat sehingga dapat memengaruhi kadar oksigen terlarut dalam perairan. Suhu terlalu rendah dapat memengaruhi pertumbuhan dan metabolisme dari ikan bandeng, udang, dan juga rumput laut.

Hasil pengukuran salinitas menunjukkan adanya perbedaan antara tambak polikultur RLB dan tambak polikultur RLU. Salinitas pada tambak polikultur RLB memiliki kisaran 14-17 ppt dengan rerata $15,10 \pm 0,74$ ppt dan salinitas pada tambak polikultur RLU memiliki kisaran 21-25 ppt dengan rerata $22,00 \pm 1,25$ ppt. Perbedaan kisaran salinitas tersebut merupakan dampak dari kondisi hidrologi di area masing-masing kelompok, di mana di area tambak polikultur RLB secara umum mendapatkan suplai air tawar yang lebih

Tabel 2. Variasi parameter kualitas air pada tambak polikultur di Desa Randusanga Wetan, Kabupaten Brebes, Jawa Tengah

Table 2. Variations of water quality parameters in polyculture ponds in Randusanga Wetan Village, Brebes Regency, Central Java

Parameter kualitas air Water quality parameters	Tambak polikultur Polyculture ponds		Kisaran standar Standard ranges		
	Rumput laut-ikan bandeng Seaweed-milkfish	Rumput laut-udang Seaweed-shrimp	<i>Gracilaria</i>	Ikan bandeng Milkfish	Udang windu Tiger prawn
Suhu (°C) Temperature (°C)	29,6 ± 0,69	31,8 ± 1,03	20-28 ^a	28-32 ^b	29-31 ^c
Salinitas (ppt) Salinity (ppt)	15,1 ± 0,73	22 ± 1,2	15-34 ^a	5-35 ^b	10-30 ^c
pH	7 ± 0	7,2 ± 0,42	6-9 ^a	7-8,5 ^b	6-9 ^c
Oksigen terlarut (mg L ⁻¹) Dissolved oxygen (mg L ⁻¹)	5,82 ± 0,88	5,54 ± 0,54	>4 ^a	>3 ^b	>4 ^c
Nitrat (mg L ⁻¹) Nitrate (mg L ⁻¹)	0,85 ± 0,73	1,31 ± 0,8	0,09-3,5 ^c	0,1-2 ^b	0,09-3,5 ^c
Fosfat (mg L ⁻¹) Phosphate (mg L ⁻¹)	0,95 ± 0,57	1,21 ± 0,72	0,10-0,21 ^d	0-1 ^b	0,05-0,5 ^e
Amonia (mg L ⁻¹) Ammonia (mg L ⁻¹)	0,4 ± 0,14	0,35 ± 0,13	<1,2 ^f	<1,2 ^f	<1,2 ^f
Klorofil-a (mg L ⁻¹) Chlorophyll-a (mg L ⁻¹)	0,039 ± 0,02	0,035 ± 0,01	<5 ^g	<5 ^g	<5 ^g

Referensi: ^aYulistiana et al. (2020); ^bFirmansyah et al. (2021); ^cIsnaini et al. (2021); ^dHendrajat et al. (2018); ^eErawan et al. (2021); ^fSeptiningsih dan Tahe (2020); ^gPermanasari et al. (2019)

References: ^aYulistiana et al. (2020); ^bFirmansyah et al. (2021); ^cIsnaini et al. (2021); ^dHendrajat et al. (2018); ^eErawan et al. (2021); ^fSeptiningsih and Tahe (2020); ^gPermanasari et al. (2019)

banyak dibandingkan dengan area tambak polikultur RLU sehingga memiliki salinitas yang lebih rendah. Kisaran tersebut masih dapat ditoleransi dan mampu mendukung tumbuhnya *Gracilaria* sp., ikan bandeng, dan udang windu. Menurut Yulistiana et al. (2020), salinitas perairan untuk budidaya rumput laut jenis *Gracilaria verrucosa* berkisar antara 15-34 ppt, sementara itu, menurut Isnaini et al. (2021), salinitas air yang optimum untuk pemeliharaan udang windu pada tambak tradisional yaitu 10-30 ppt. Salinitas berpengaruh terhadap osmoregulasi dan tingkat kinerja osmotik pada organisme. Salinitas yang rendah dapat berdampak negatif terhadap pertumbuhan *Gracilaria* sp., meskipun unsur hara lain seperti fosfat cukup memadai (Rejeki et al., 2018). Hal tersebut diperkuat oleh Rohman et al. (2018) yang menyatakan bahwa salinitas yang rendah

di bawah batas toleransinya akan menyebabkan *Gracilaria* sp. berwarna pucat, gampang patah, dan lunak yang akhirnya akan membusuk serta tidak tumbuh dengan normal dan mati. Kisaran salinitas yang tinggi juga dapat menyebabkan terhambatnya proses pergantian kulit pada udang (*molting*), sedangkan salinitas yang rendah dapat menurunkan oksigen terlarut dan dapat menyebabkan kulit udang tipis (Syukri & Ilham, 2016).

Nilai pH yang diperoleh pada tambak polikultur *Gracilaria* sp. dan ikan bandeng yaitu 7, sedangkan nilai pH pada tambak polikultur *Gracilaria* sp. dan udang windu berkisar antara 7-8. Nilai tersebut dapat dikatakan mendukung untuk budidaya *Gracilaria* sp., ikan bandeng, dan udang windu. Kisaran pH yang disarankan untuk kegiatan budidaya *Gracilaria* sp., ikan bandeng, dan udang windu berturut-turut yaitu

6-9 (Yulistiana *et al.*, 2020), 7-8,5 (Firmansyah *et al.*, 2021), dan 6-9 (Isnaini *et al.*, 2021).

Oksigen terlarut pada tambak polikultur RLB berkisar 5,22-7,84 mg L⁻¹ dan pada polikultur RLU berkisar 4,79-6,30 mg L⁻¹. Menurut Yulistiana *et al.* (2020), nilai oksigen terlarut dalam budidaya *Gracilaria* sp. sebaiknya >4 mg L⁻¹. Selaras dengan pendapat Isnaini *et al.* (2021), bahwa nilai oksigen terlarut untuk budidaya udang windu (*Penaeus monodon*) dan rumput laut (*Gracilaria* sp.) yaitu >4 mg L⁻¹. (Mangampa & Burhanuddin, 2014). Selain itu, fluktuasi oksigen terlarut juga dipengaruhi oleh suhu. Semakin tinggi suhu perairan maka semakin rendah kandungan oksigen terlarut. Hal tersebut diperkuat oleh Gultom *et al.* (2019), bahwa semakin tinggi suhu suatu perairan maka akan semakin rendah kandungan oksigen terlarut dalam perairan tersebut.

Amoniak merupakan salah satu bentuk nutrisi anorganik yang dapat dimanfaatkan oleh *Gracilaria* sp. dengan cara menyerap kandungan nutrisi melalui dinding *thallus*. Berdasarkan hasil analisis kandungan amoniak pada tambak polikultur diperoleh kandungan amoniak berkisar 0,21-0,72 mg L⁻¹. Nilai tersebut masih dalam batas toleransi atau layak untuk budidaya *Gracilaria* sp., ikan bandeng dan udang windu. Menurut Wahyuningsih dan Gitarama (2020), amoniak bersifat toksik dan dapat menyebabkan penurunan oksigen dalam jumlah yang besar. Amoniak bersifat beracun bagi organisme budidaya pada konsentrasi >1,5 mg L⁻¹. Septianingsih dan Tahe (2020) menyatakan bahwa kandungan amoniak dalam air sebaiknya tidak melebihi 1,2 mg L⁻¹.

Nitrat dalam perairan sangat berperan dalam pertumbuhan fitoplankton. Fitoplankton dapat tumbuh optimal pada kandungan nitrat sebesar 0,09-3,5 mg L⁻¹ (Firmansyah *et al.*, 2021). Berdasarkan hasil analisis kandungan nitrat pada tambak polikultur diperoleh kandungan nitrat berkisar 0,21-2,6 mg L⁻¹. Kandungan nitrat pada tambak polikultur yang tergolong perairan oligotrofik dan mesotrofik berada pada konsentrasi yang cukup untuk pertumbuhan organisme. Menurut Firmansyah *et al.* (2021), kandungan nitrat untuk budidaya

ikan bandeng yaitu 0,1-2 mg L⁻¹. Kandungan nitrat yang optimal untuk kegiatan budidaya *Gracilaria* sp. dan udang windu adalah berkisar 0,09-3,5 mg L⁻¹ (Isnaini *et al.*, 2021). Konsentrasi nitrat <0,01 mg L⁻¹ dan >3 mg L⁻¹ merupakan faktor pembatas (Rosmiati *et al.*, 2019). Kandungan unsur nitrogen (N) dapat mengalami peningkatan karena nitrogen diabsorpsi oleh fitoplankton dalam bentuk nitrat (NO₃) dan amoniak (NH₃).

Kandungan fosfat dalam air merupakan nutrisi utama selain nitrat yang diperlukan untuk pertumbuhan fitoplankton dalam perairan. Berdasarkan hasil analisis kandungan fosfat pada tambak polikultur diperoleh kandungan fosfat berkisar 0,14-2,35 mg L⁻¹. Menurut Hendrajat *et al.* (2018), kandungan fosfat yang optimal pada perairan tambak untuk budidaya *Gracilaria* sp. yaitu berkisar 0,101-0,211 mg L⁻¹, sedangkan kandungan fosfat untuk budidaya ikan bandeng yaitu berkisar 0-1 mg L⁻¹ dan udang windu 0,05-0,5 mg L⁻¹ (Utama *et al.*, 2023). Apabila kandungan fosfat cukup besar melebihi kebutuhan normal maka perairan akan terlalu subur (eutrofikasi). Kandungan fosfat tertinggi terdapat pada tambak 1 polikultur RLU yaitu 2,35 mg L⁻¹. Tingginya kandungan fosfat pada tambak karena tambak berbatasan dengan pemukiman, diduga limbah domestik ikut masuk ke dalam tambak melalui saluran air. Menurut Sitepu *et al.* (2021), kadar fosfat yang tinggi diduga berasal dari penguraian senyawa organik seperti hewan dan tumbuhan serta kegiatan manusia seperti adanya pemukiman di sekitar perairan yang menyebabkan masuknya limbah domestik dari lingkungan sekitar ke perairan tambak. Kandungan fosfat yang terlalu tinggi pada tambak dapat menyebabkan pertumbuhan *Gracilaria* sp. menjadi lambat dan terganggu (Gultom, 2019).

Hubungan antara kandungan fosfat dengan kesuburan perairan yaitu kandungan fosfat berkisar 0,00-0,02 mg L⁻¹ diartikan memiliki tingkat kesuburan yang rendah, 0,021-0,050 mg L⁻¹ memiliki tingkat kesuburan yang cukup, 0,051-0,100 mg L⁻¹ memiliki tingkat kesuburan yang baik, 0,101-0,200 mg L⁻¹ memiliki tingkat

kesuburan yang sangat baik, dan $>0,201 \text{ mg L}^{-1}$ memiliki tingkat kesuburan yang sangat baik sekali (Erlina *et al.*, 2007). Kandungan fosfat pada tambak RLB yaitu 0,95 ppm dan tambak RLU yaitu 1,21 ppm, maka termasuk pada kategori perairan yang sangat subur sekali.

Hasil analisis kandungan klorofil-a pada tambak polikultur RLB dan RLU berkisar $0,020-0,097 \text{ mg L}^{-1}$. Kandungan klorofil-a tersebut secara keseluruhan memiliki tingkat kesuburan mesotrofik dan termasuk dalam kategori yang cukup untuk mendukung kegiatan budidaya rumput laut. Nilai standar baku mutu kandungan klorofil-a pada perairan untuk budidaya yaitu $>0,015 \text{ mg L}^{-1}$ (Febbrianna, 2017). Menurut Permanasari *et al.* (2019), nilai optimum untuk klorofil-a yaitu $<5 \text{ mg L}^{-1}$. Kandungan klorofil-a tidak berhubungan langsung dengan organisme budidaya, namun berhubungan dan berperan langsung dalam keseimbangan perairan dan aktivitas fotosintesis sebagai penyusun kesuburan perairan. Menurut Ismail *et al.*, (2014), kandungan klorofil-a pada tambak sangat penting karena berfungsi sebagai mediator dalam proses fotosintesis dan menentukan produktivitas primer perairan.

Produktivitas Primer Perairan

Produktivitas primer merupakan laju produksi zat organik melalui proses fotosintesis. Pengukuran tingkat produktivitas primer suatu perairan dihitung berdasarkan besarnya aktivitas fotosintesis yang dilakukan oleh *algae* pada perairan. Tingkat produktivitas primer dapat ditentukan oleh kandungan klorofil-a dan kondisi lingkungan perairan. Hasil produktivitas primer pada tambak polikultur RLB yaitu $112,17 \pm 41,06 \text{ mgC m}^{-3} \text{ hari}^{-1}$, sedangkan produktivitas primer pada tambak polikultur RLU adalah $105,39 \pm 29,12 \text{ mgC m}^{-3} \text{ hari}^{-1}$ (Tabel 3). Berdasarkan hasil uji *independent T-test*, diketahui bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara produktivitas primer pada tambak polikultur RLB dan RLU. Produktivitas primer tersebut memiliki tingkat kesuburan yang rendah (oligotrofik). Hal tersebut sesuai dengan Sunaryo (2017), yang

menyatakan bahwa tingkat kesuburan $<200 \text{ mgC m}^{-3} \text{ hari}^{-1}$ termasuk kategori oligotrofik, sedangkan $200-750 \text{ mgC m}^{-3} \text{ hari}^{-1}$ termasuk kategori mesotrofik dan $>750 \text{ mgC m}^{-3} \text{ hari}^{-1}$ termasuk eutrofik. Menurut Zulfiah dan Aisyah (2013), perairan oligotrofik umumnya jernih dan tidak dijumpai melimpahnya alga. Kondisi tersebut menggambarkan nutrisi yang rendah sehingga tidak mendukung populasi ikan yang relatif besar.

Tinggi rendahnya produktivitas primer perairan sangat dipengaruhi oleh aktivitas organisme perairan dan faktor kualitas air lainnya seperti suhu dan kecerahan yang mencakup tinggi rendahnya intensitas cahaya yang masuk ke dalam perairan tambak tersebut. Produktivitas primer perairan terendah terdapat pada tambak 2 polikultur RLB yaitu $75,58 \text{ mgC m}^{-3} \text{ hari}^{-1}$ dengan kandungan suhu yang juga rendah yaitu 28°C jika dibandingkan dengan tambak lainnya. Menurut Febbrianna *et al.* (2017), sinar matahari memengaruhi proses fotosintesis. Nilai produktivitas primer tertinggi terjadi oleh suhu yang optimal dan intensitas cahaya yang sangat cerah sehingga proses fotosintesis pada fitoplankton berjalan dengan baik.

Produktivitas primer perairan di lokasi penelitian, tidak memiliki hubungan yang signifikan terhadap kandungan nitrat dan fosfat. Tingkat korelasi antara nitrat dengan produktivitas primer hanya sebesar 0,04 sedangkan antara fosfat dengan produktivitas primer hanya sebesar -0,063. Hasil tersebut menunjukkan bahwa produktivitas primer dalam tambak polikultur lebih dipengaruhi oleh parameter lingkungan selain nitrat dan fosfat. Menurut Sitepu, 2021, produktivitas primer perairan tidak hanya terkait dengan kondisi parameter kimia lingkungan, khususnya N, tetapi juga beberapa faktor fisika seperti cahaya, arus, suhu, kestabilan kolom air, dan sirkulasi air. Di sisi lain, adanya rumput laut dalam tambak polikultur yang diteliti juga dapat menjadi faktor penyebab disrupsi hubungan antara kandungan nitrat dan fosfat dengan produktivitas primer perairan (Bandjari & Paserang, 2017). Rumput laut sendiri

Tabel 3. Produktivitas primer ($\text{mgC m}^{-3} \text{ hari}^{-1}$) tambak polikultur rumput laut-udang dan rumput laut-ikan bandeng
 Table 3. The primary productivity ($\text{mgC m}^{-3} \text{ day}^{-1}$) of seaweed-shrimp and seaweed-milkfish polyculture ponds

Tambak Ponds	Rumput laut- ikan bandeng Seaweed-milkfish	Rumput laut-udang Seaweed- shrimp
1	87,42	108,13
2	75,68	119,08
3	146,52	79,18
4	75,91	104,31
5	80,09	88,06
6	145,28	96,41
7	114,42	79,64
8	104,70	115,50
9	89,77	85,90
10	201,87	177,66
Rerata \pm SD Mean \pm SD	112,17 \pm 41,05	105,39 \pm 29,12

memiliki tingkat produktivitas primer yang tinggi, diperkirakan mencapai $1.500 \text{ tonCO}_2 \text{ km}^{-2} \text{ tahun}^{-1}$ (Radiarta, 2014). Hal ini berarti dalam tambak polikultur sebagian besar nitrat dan fosfat akan terserap oleh rumput laut.

Produksi Tambak

Pembudidaya tambak di desa Randusanga Wetan sebagian besar menerapkan budidaya sistem polikultur dengan harapan dapat memperoleh hasil produksi yang lebih tinggi dibanding dengan sistem budidaya monokultur. Sistem polikultur merupakan metode budidaya yang menempatkan beberapa spesies dalam satu wadah budidaya dengan kebiasaan makan yang berbeda untuk meminimalisir persaingan interspesifik dan bertujuan untuk meningkatkan keuntungan produksi (Cahya *et al.*, 2021). Berdasarkan hasil penelitian, produksi kering *Gracilaria* sp. pada tambak polikultur RLB di desa Randusanga Wetan, Kabupaten Brebes berkisar $1800\text{-}3500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ siklus}^{-1}$ dengan total $27000 \text{ kg siklus}^{-1}$ lebih tinggi dibandingkan RLU berkisar $1000\text{-}3000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ siklus}^{-1}$ dengan total 17000 kg

siklus⁻¹ (Tabel 4). Hasil panen ikan bandeng pada tambak RLB yaitu berkisar $100\text{-}300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ siklus}^{-1}$ dan hasil panen udang windu pada tambak RLU yaitu berkisar $100\text{-}200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ siklus}^{-1}$. Menurut Patahiruddin (2020), produksi rumput laut *G. verrucosa* di tambak dapat mencapai hasil minimal satu ton kering per hektar setiap periode. Hasil produksi rumput laut di Desa Randusanga Wetan masih menunjukkan hasil yang cukup baik.

Hubungan antara Produktivitas Primer dan Produksi Tambak

Hubungan antara produktivitas primer dan produksi tambak dianalisis menggunakan analisis regresi linear. Hasil analisis regresi linear antara produktivitas primer dan produksi tambak polikultur tersaji pada Gambar 2 dan Gambar 3. Hubungan antara produktivitas primer dengan produksi *Gracilaria* sp. dan ikan bandeng pada tambak polikultur RLU, memiliki nilai R^2 0,613 (Gambar 3b) yang artinya memiliki hubungan yang tinggi atau kuat. Besarnya kenaikan produksi *Gracilaria* sp. dipengaruhi oleh tingkat produktivitas

Tabel 4. Produksi tambak rumput laut-udang dan rumput laut-ikan bandeng di Desa Randusanga Wetan, Kabupaten Brebes, Jawa Tengah

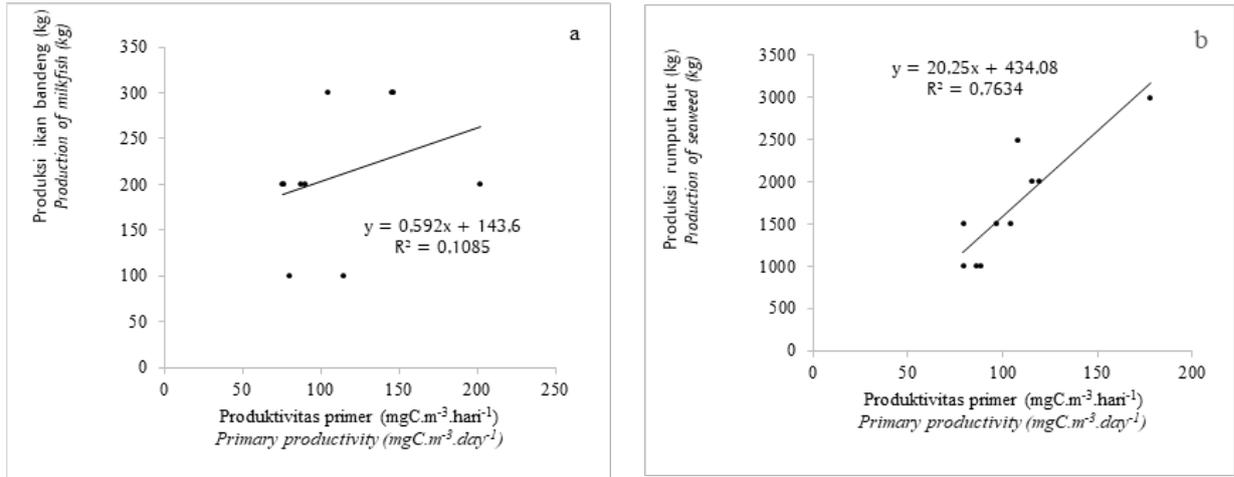
Table 4. Production of seaweed-shrimp and seaweed-milkfish in polyculture ponds in Randusanga Wetan Village, Brebes Regency, Central Java

Tambak Ponds	Rumput laut-udang Seaweed-shrimp		Rumput laut-ikan bandeng Seaweed-milkfish	
	Udang (kg) Shrimp (kg)	Rumput laut (kg kering) Seaweed (kg dry weight)	Ikan bandeng (kg) Milkfish (kg)	Rumput laut (kg kering) Seaweed (kg dry weight)
1	100	2500	200	3000
2	200	2000	200	1800
3	150	1000	300	3000
4	100	1500	200	2000
5	150	1000	100	2500
6	100	1500	300	3000
7	200	1500	100	3000
8	100	2000	300	2500
9	100	1000	200	2800
10	200	3000	200	3500
Rerata ± SD Mean ± SD	140 ± 45	1700 ± 674	210 ± 73	2.710 ± 515
Jumlah siklus per tahun Cycle per year	2	4	1	4
Produktivitas (kg ha ⁻¹ siklus ⁻¹) Productivity (kg ha ⁻¹ cycle ⁻¹)	593	7.203	688	8.885

primer perairan sebanyak 61%, sedangkan hubungan antara produktivitas primer dan produksi *Gracilaria* sp. dan udang pada tambak polikultur RLB, memiliki nilai R² 0,76 (Gambar 2b) yang artinya memiliki hubungan yang kuat dan besarnya kenaikan produksi *Gracilaria* sp. dipengaruhi oleh tingkat produktivitas primer perairan sebanyak 76%. Menurut Yulistiana *et al.* (2020), pertumbuhan rumput laut (*Gracilaria* sp.) berhubungan dengan parameter lingkungan yaitu suhu, kandungan oksigen dan unsur-unsur hara serta proses fotosintesis dalam perairan budidaya. Fotosintesis akan bertambah sejalan dengan produktivitas primer suatu perairan, semakin tinggi proses fotosintesis maka semakin tinggi pula produktivitas primer pada suatu perairan. Selain itu, keberhasilan budidaya *Gracilaria* sp di kabupaten Brebes dipengaruhi oleh ketersediaan bibit, kualitas air dalam

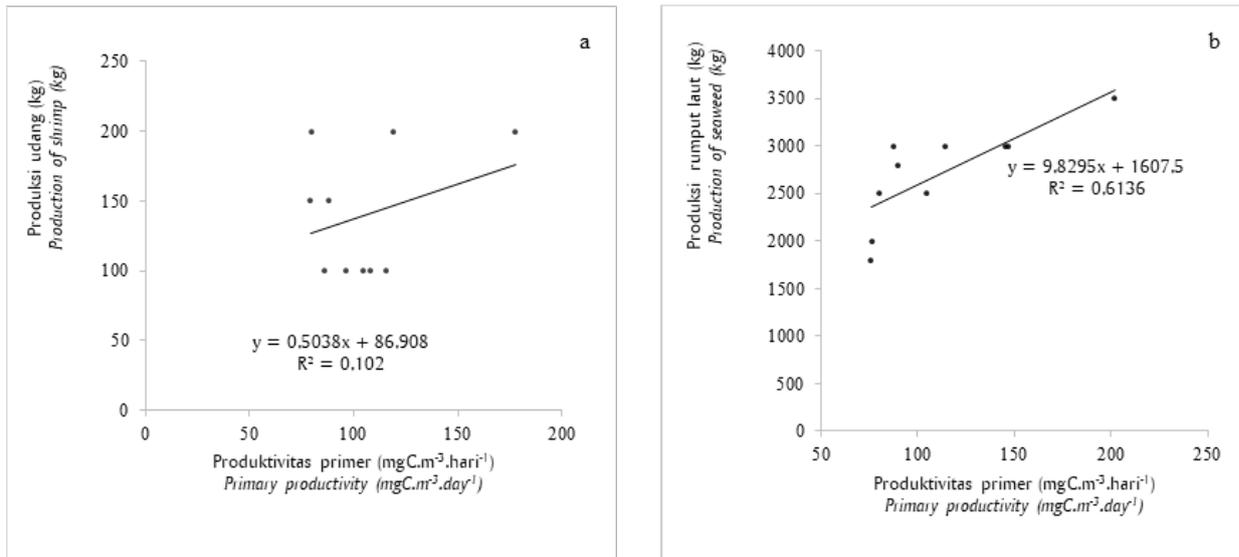
tambak serta kemampuan pengelola tambak dalam mengendalikan gulma yang terdapat dalam tambak, serta kondisi infrastruktur yang terdapat pada tambak (Zulham *et al.*, 2011).

Hasil analisis regresi pada produktivitas primer dengan produksi ikan bandeng pada tambak RLB menunjukkan nilai R² 0,108 (Gambar 2a). Hasil analisis regresi produktivitas primer dengan produksi udang windu pada tambak RLU menunjukkan nilai R² 0,102 (Gambar 3a) yang artinya produktivitas primer memiliki hubungan yang rendah terhadap produksi ikan bandeng dan udang windu. Besarnya pengaruh produktivitas primer terhadap produksi ikan bandeng dan udang windu hanya 10% dan sisanya 90% dipengaruhi oleh faktor lain di luar produktivitas primer. Menurut Jantia *et al.* (2020), kualitas perairan secara biologis berpengaruh terhadap pertumbuhan ikan bandeng. Kandungan N dan



Gambar 2. Hubungan produktivitas primer dengan produksi ikan bandeng (a) dan rumput laut (b) pada tambak rumput laut-ikan bandeng (RLB)

Figure 2. Relationship of primary productivity with production of milkfish (a) and seaweed (b) in seaweed-milkfish ponds



Gambar 3. Hubungan produktivitas primer dengan produksi udang (a) dan rumput laut (b) pada tambak rumput laut-udang (RLU)

Figure 3. Relationship of primary productivity with production of shrimp (a) and seaweed (b) in seaweed-shrimp ponds

P di suatu perairan akan berpengaruh terhadap kelimpahan fitoplankton di perairan, dengan adanya fitoplankton di perairan akan menjadi pakan sekunder bagi ikan bandeng. Selain itu, kualitas fisika perairan merupakan unsur penting yang harus diperhatikan untuk menjamin kelangsungan hidup ikan bandeng. Fluktuasi kualitas air dapat memengaruhi pertumbuhan ikan bandeng dan udang windu. Menurut Yusuf

et al. (2014), media penting untuk budidaya ikan adalah air. Parameter kualitas air meliputi pH, salinitas, dan suhu merupakan parameter utama yang dapat mendukung sintasan ikan bandeng. Parameter perairan tersebut harus optimal atau setidaknya nilainya masih dapat ditoleransi oleh ikan bandeng. Selaras dengan Minarseh et al. (2021), pH dan suhu termasuk faktor utama yang dapat memengaruhi serta menjadi penentu

dalam konsumsi pakan dan laju metabolisme pada ikan bandeng dan udang windu.

Faktor lain yang diduga dapat memengaruhi produksi ikan bandeng yaitu faktor internal berupa resistensi terhadap penyakit, pakan dan umur serta faktor eksternal yaitu padat tebar, penyakit, dan kualitas air (Faisyal *et al.*, 2016). Faktor lain yang mempengaruhi produksi udang windu yaitu jumlah benur, luas tambak, pakan, obat, dan probiotik (Suseno *et al.*, 2021). Padat tebar sangat berpengaruh terhadap sintasan udang windu. Tingkat sintasan udang dapat menurun dikarenakan padat penebaran yang tinggi akan meningkatkan kompetisi udang dalam mendapatkan makanan, ruang gerak, tempat hidup, dan oksigen (Isnaini *et al.*, 2021).

Di samping korelasi regresi linear, telah dilakukan pula analisis *multiple regresi*. Hubungan antara kualitas lingkungan dengan produktivitas perairan dan produktivitas budidaya dilakukan secara *robust* terhadap data yang diperoleh. Analisis data regresi berganda dilakukan dengan metode *backward*, dimana parameter yang tidak berpengaruh signifikan akan dieliminasi secara bertahap sehingga menyisakan parameter yang memiliki pengaruh signifikan saja (Biswas *et al.*, 2012).

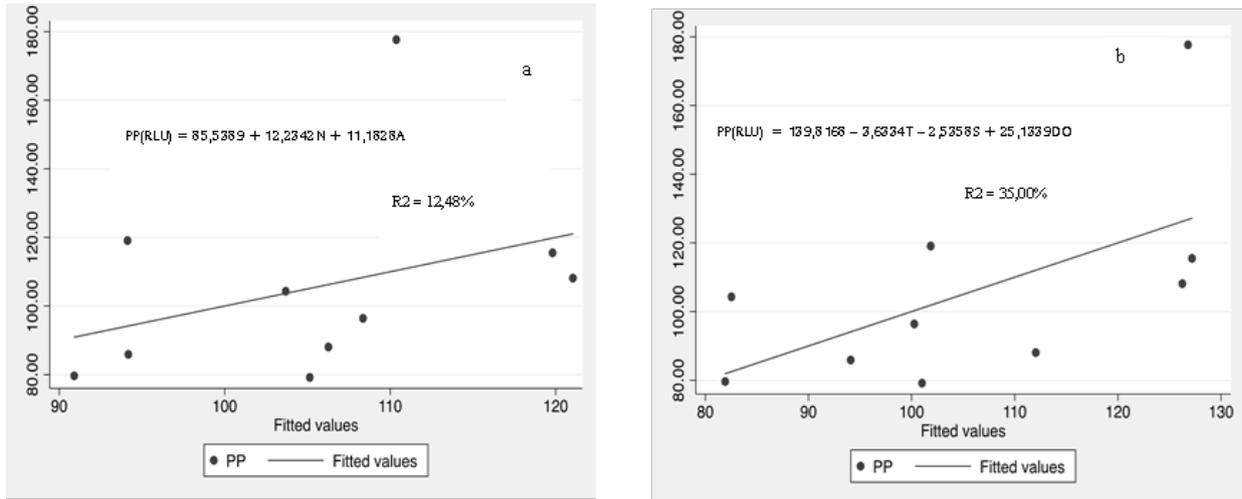
Hubungan Kualitas Air dan Produktivitas Primer

Uji regresi berganda dilakukan untuk mengetahui hubungan antara beberapa parameter kualitas air dengan produktivitas primer perairan. Grafik pada Gambar 4a dan 4b menunjukkan bahwa model regresi yang digunakan memiliki kesesuaian yang cukup baik dalam memprediksi nilai PP. Hal ini terlihat dari sebaran titik-titik data yang relatif dekat dengan garis prediksi (*fitted values*). Pada RLU diperoleh persamaan regresi $PP(RLU) = 85,5389 + 12,2342N + 11,1828A$ pada korelasi antara produktivitas primer dengan nitrat dan amoniak. Nilai R^2 sebesar 0,1248 menunjukkan bahwa 12,48% variasi dalam produktivitas primer (PP) dapat dijelaskan oleh model regresi ini. Persamaan pada Gambar 4a diindikasikan

bahwa setiap kenaikan satu satuan nitrat (N), PP diperkirakan akan meningkat sebesar 12,2342 satuan, kemudian setiap kenaikan satu satuan amoniak (A), PP diperkirakan akan meningkat sebesar 11,1828 satuan, dengan asumsi variabel independen lainnya konstan. Ketersediaan amoniak dan nitrat di perairan memengaruhi tingkat produktivitas primer di mana nutrisi ini dibutuhkan oleh fitoplankton untuk tumbuh, sehingga produktivitas primer meningkat (Silaban, 2022)

Hubungan PP dengan temperatur, salinitas, dan oksigen (Gambar 4b) didapatkan persamaan regresi berganda $PP(RLU) = 139,8168 - 3,6334T - 2,5358ppt + 25,1339DO$. Nilai R^2 sebesar 0,3500 menunjukkan bahwa 35% variasi dalam produktivitas primer (PP) dapat dijelaskan oleh model regresi ini, sedangkan sebagian variasi lain dari PP dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak dimasukkan dalam model. Persamaan tersebut bermakna bahwa setiap kenaikan satu satuan suhu (T), PP diperkirakan akan menurun sebesar 3,6334 satuan, setiap kenaikan satu satuan salinitas (ppt), PP diperkirakan akan menurun sebesar 2,5358 satuan, dan setiap kenaikan satu satuan oksigen terlarut (DO), PP diperkirakan akan meningkat sebesar 25,1339 satuan, dengan asumsi variabel independen lainnya konstan. Tingkat oksigen terlarut yang memadai penting untuk mendukung metabolisme fitoplankton. Konsentrasi oksigen yang rendah dapat terjadi akibat dekomposisi bahan organik yang intensif, yang meningkatkan konsumsi oksigen oleh mikroorganisme sehingga menghambat pertumbuhan fitoplankton (Isnaini, 2021). Suhu juga berperan penting dalam keseimbangan lingkungan yang mendukung tingkat produktivitas primer. Suhu yang meningkat akan meningkatkan salinitas dan menurunkan nilai produktivitas primer (Sunaryo, 2017).

Hubungan antara kualitas air (nitrat dan amoniak) dengan produktivitas primer di tambak rumput laut dengan ikan bandeng (RLB) dianalisis menggunakan regresi berganda. Hasil persamaan yang didapatkan adalah $PP(RLB) = 28,0593 + 22,1873N + 152,746A$ (Gambar 5a) dengan nilai R^2 adalah 32,2%. Nilai



Gambar 4. Hubungan kualitas air dengan produktivitas primer pada tambak rumput laut-udang. a. Hubungan antara produktivitas primer dengan nitrat dan amoniak; b. Hubungan antara produktivitas primer dengan suhu, salinitas, dan oksigen terlarut. PP: Produktivitas primer; N: Nitrat (mg L⁻¹); A: Amoniak (mg L⁻¹); T: Suhu (°C); S: Salinitas (ppt); DO: Oksigen terlarut (mg L⁻¹)

Figure 4. Correlation of water quality and primary productivity in seaweed-shrimp ponds. a. Correlation among primary productivity with nitrate and ammonia; b. Correlation among primary productivity with temperature, salinity, and dissolved oxygen. PP: Primary productivity; N: Nitrate (mg L⁻¹); A: Ammonia (mg L⁻¹); T: Temperature (°C); S: Salinity (ppt); DO: Dissolved

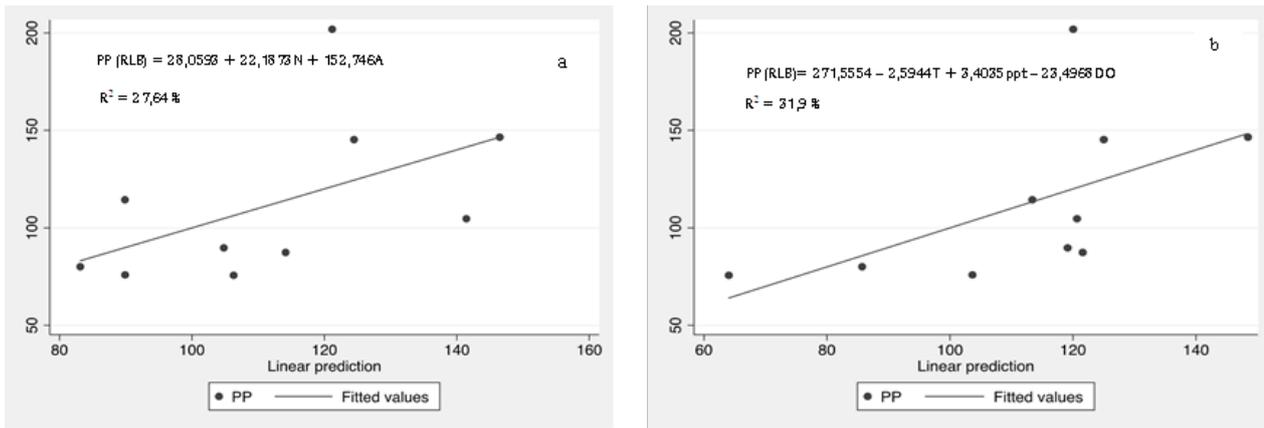
R² menunjukkan bahwa 32,9% variasi dalam produktivitas primer (PP) dapat dijelaskan oleh model regresi ini dan sebagian variasi lain dari PP dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak dimasukkan dalam model. Koefisien N (Nitrat) sebesar 22,1873 menunjukkan bahwa setiap kenaikan satu satuan nitrat (N), PP diperkirakan akan meningkat sebesar 22,1873 satuan. Amoniak (A) memiliki nilai koefisien sebesar 152,746 menunjukkan bahwa setiap kenaikan satu satuan ammonia (A), PP diperkirakan akan meningkat sebesar 152,746 satuan.

Hubungan antara suhu, salinitas, dan kandungan oksigen terlarut dengan nilai PP menghasilkan persamaan regresi berganda $PP(RLB) = 271,5554 - 2,5944T + 3,4035S - 23,4968DO$ (Gambar 5b). Nilai R² menunjukkan bahwa 27,64% variasi dalam produktivitas primer (PP) dapat dijelaskan oleh model regresi ini dan sebagian variasi lain dari PP dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak dimasukkan

dalam model. Variabel T (Suhu) menghasilkan koefisien sebesar -2,5944 menunjukkan bahwa setiap kenaikan satu satuan suhu (°C), PP diperkirakan akan menurun sebesar 2,5944 satuan. Koefisien salinitas pada persamaan sebesar 3,4035 menunjukkan bahwa setiap kenaikan satu satuan salinitas (ppt), PP diperkirakan akan meningkat sebesar 3,4035 satuan. DO memiliki koefisien sebesar -23,4968 menunjukkan bahwa setiap kenaikan satu satuan oksigen terlarut (DO), PP diperkirakan akan menurun sebesar 23,4968 satuan. Grafik pada Gambar 5b menunjukkan bahwa model regresi yang digunakan memiliki kesesuaian yang baik dalam memprediksi nilai PP. Hal ini terlihat dari sebaran titik-titik data yang dekat dengan garis prediksi (*fitted values*).

Perbandingan Hasil Produksi *Gracilaria* sp.

Berdasarkan hasil penelitian, produksi *Gracilaria* sp. pada tambak polikultur RLB



Gambar 5. Hubungan kualitas air dengan produktivitas primer pada tambak rumput laut-ikan bandeng. a. Hubungan antara produktivitas primer dengan nitrat dan amoniak; b. Hubungan antara produktivitas primer dengan suhu, salinitas, dan oksigen terlarut. PP: Produktivitas primer; N: Nitrat (mg L⁻¹); A: Amonia (mg L⁻¹); T: Suhu (°C); S: Salinitas (ppt); Oksigen terlarut: DO (mg L⁻¹)

Figure 5. Correlation of water quality and primary productivity in seaweed-milk fish ponds. a. Correlation among primary productivity with nitrate and ammonia; b. Correlation among primary productivity with temperature, salinity, and dissolved oxygen. PP: Primary productivity; N: Nitrate (mg L⁻¹); A: Ammonia (mg L⁻¹); T: Temperature (°C); S: Salinity (ppt); Dissolved oxygen: DO (mg L⁻¹)

Tabel 5. Hasil uji independent T-test pada produksi *Gracilaria* sp. pada tambak polikultur yang berbeda

Table 5. Results of independent T-test on *Gracilaria* sp. production in different polyculture ponds

		T-test for equality of means		
		t	df	Sig. (2-tailed)
Produksi <i>Gracilaria</i> sp.	Equal variances assumed	3.761	18	0,001**
Production of <i>Gracilaria</i> sp.	Equal variances not assumed	3.761	16.830	0,002**

Keterangan: **Sig. (2-tailed) < 0,05 mengindikasikan perbedaan yang signifikan antara hasil produksi *Gracilaria* sp. pada tambak polikultur yang berbeda

Description: **Sig. (2-tailed) < 0,05 indicate significant differences among production of *Gracilaria* sp. in different polyculture ponds

memiliki hasil rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan hasil produksi pada tambak polikultur RLU. Perbandingan hasil produksi rumput laut diketahui dengan melakukan uji independent T-test yang tersaji pada Tabel 5.

Berdasarkan hasil uji independent T-test, diketahui bahwa nilai probabilitas signifikan <0,05 yang artinya terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil produksi rumput laut pada tambak polikultur RLB dan RLU. Produksi rumput laut pada tambak polikultur RLB secara signifikan memiliki jumlah produksi yang lebih besar dibandingkan dengan hasil

produksi rumput laut pada tambak polikultur RLU. Hal tersebut diduga karena rerata suhu pada tambak polikultur RLU lebih tinggi (30-33°C) dibandingkan dengan suhu pada tambak polikultur RLB (28-30°C). Suhu air dapat berpengaruh terhadap beberapa fungsi fisiologis rumput laut seperti proses fotosintesis, respirasi, metabolisme, dan pertumbuhan. Suhu optimum untuk budidaya *Gracilaria* sp. yaitu 20-28°C (Yulistiana et al., 2020). Menurut Mangampa dan Burhanuddin (2014), pada budidaya polikultur, rumput laut *Gracilaria* sp. dan udang windu dapat tumbuh secara optimal pada kisaran suhu

28-32°C. Berdasarkan hasil pengukuran, suhu pada tambak polikultur RLB dan RLU memiliki nilai yang kurang sesuai untuk pertumbuhan *Gracilaria*. Menurut Gultom *et al.* (2019), suhu yang tinggi dapat menyebabkan kematian pada *Gracilaria* sp., sedangkan pada suhu yang rendah, membran protein pada rumput laut akan mengalami kerusakan serta membentuk kristal sehingga dapat memengaruhi kehidupan rumput laut.

Selain suhu, parameter lain yang diduga memengaruhi produksi rumput laut yaitu kandungan fosfat. Kandungan fosfat pada tambak polikultur RLU memiliki kisaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan fosfat pada tambak polikultur RLB. Hal tersebut karena tambak tersebut letaknya lebih dekat dengan pemukiman. Konsentrasi fosfat maksimal untuk lingkungan tambak sebesar 1,30 mg L⁻¹. Fosfat yang terlalu tinggi akan menyebabkan eutrofikasi di mana hal ini akan berakibat kurang baik bagi perairan dan akan menyebabkan asimilasi nutrisi untuk pertumbuhan rumput laut yang akan mengurangi konsentrasinya di perairan sehingga menyebabkan laju produksi menjadi rendah (Hendrajat *et al.*, 2018).

Pada tambak polikultur RLB tidak terdapat klekap pada permukaan airnya karena klekap dapat mengganggu cahaya matahari yang masuk ke dalam tambak budidaya. Tidak adanya klekap dalam tambak diduga karena klekap dimakan oleh ikan bandeng. Menurut Samidjan *et al.* (2021), ikan bandeng mampu beradaptasi dengan rumput laut, mampu menerima makanan yakni pelet, sisa bahan organik, plankton, dan klekap sehingga dapat memproduksi *Gracilaria* yang berkualitas karena cahaya matahari untuk pertumbuhan *Gracilaria* tidak terhalang oleh klekap yang berada di permukaan tambak. Menurut Minarseh *et al.* (2021), dalam tambak budidaya polikultur, *Gracilaria* sp. berperan sebagai *biofilter* yang dapat mempertahankan kualitas air karena dapat menyerap limbah organik. Budidaya rumput laut dan ikan bandeng berdasarkan

sifat biologisnya dapat bekerjasama dengan baik dalam budidaya polikultur.

Merujuk pada temuan dalam penelitian ini, penerapan sistem polikultur dalam budidaya tambak, baik ikan bandeng maupun udang dapat memberikan dampak yang positif terhadap lingkungan. Hal ini ditunjukkan dengan indikasi peningkatan kualitas lingkungan dan produktivitas primer perairan. Berdasarkan hasil penelitian, tambak polikultur RLB memiliki efektivitas yang lebih baik dalam meningkatkan kualitas lingkungan dan produktivitas primer perairan. Hal ini terbukti dari kandungan nitrat dan fosfat pada tambak polikultur RLB yang lebih rendah dari tambak polikultur RLU, sementara tingkat produktivitas primer perairan yang dihasilkan juga lebih tinggi. Di sisi lain, produktivitas, khususnya ditinjau dari produksi rumput laut secara signifikan juga lebih tinggi.

Hasil penelitian ini memberikan implikasi bahwa pada Desa Randusanga Wetan disarankan untuk melakukan budidaya rumput laut dengan ikan bandeng yang menghasilkan hasil produksi yang lebih tinggi 1,5 kali dibandingkan budidaya rumput laut bersama udang.

KESIMPULAN

Nilai produktivitas primer pada polikultur rumput laut dan ikan bandeng tidak berbeda nyata dengan produktivitas primer pada polikultur rumput laut dan udang. Produktivitas primer memiliki korelasi yang kuat dengan produksi *Gracilaria* sp. pada tambak polikultur dengan ikan bandeng dan udang, sedangkan korelasi produktivitas primer terhadap produksi ikan bandeng dan udang windu memiliki hubungan yang rendah. Produksi *Gracilaria* sp. pada tambak polikultur dengan ikan bandeng lebih tinggi dibandingkan dengan tambak polikultur dengan udang. Tingginya nilai produktivitas primer berpengaruh kuat pada tingginya produksi *Gracilaria* sp. pada tambak polikultur dengan ikan bandeng.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim penelitian, para dosen, dan teknisi yang terlibat di dalam penelitian ini. Penelitian ini dibiayai menggunakan dana dari Penelitian Hibah Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, sumber dana selain APBN Universitas Diponegoro Nomor 92/UN7.5.10.2/PP/2021. Terima kasih juga kami ucapkan kepada semua *reviewer* dan Dewan Redaksi Jurnal Riset Akuakultur.

DAFTAR ACUAN

- Al-Bandjari, A. S., & Paserang, A. P. (2020). Produktivitas primer perairan Danau Sibili Kecamatan Tawaeli, Kota Palu, Sulawesi Tengah. *Biocelebes*, 14(3), 244-252. <https://doi.org/10.22487/bioceb.v14i3.15422>
- Beveridge, M. C. M. (1984). *Cage and pen fish farming. Carrying capacity models and environment impact. FAO fisheries technical paper No. 255*. Food and Agriculture Organization.
- Biswas, G., Ananda Raja, R., De, D., Sundaray, J. K., Ghoshal, T. K., Anand, S., Kumar, S., Panigrahi, A., Thirunavukkarasu, A. R., & Ponniah, A. G. (2012). Evaluation of productions and economic returns from two brackishwater polyculture systems in tide-fed ponds. *Journal of Applied Ichthyology*, 28, 116-122. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01909.x>
- Cahya, M. D., Yustiati, A., Andriani, Y. (2021). Sistem budidaya polikultur dan *integrated multi trophic aquaculture* (IMTA) di Indonesia: Sebuah ulasan. *Torani: Journal of Fisheries and Marine Science*, 4(2), 72-85.
- Erawan, M. T. F., Mustafa, A., Oetama, D., Purnama, M. F., Pratikino, G., & Wahidin, L. O. (2021). Studi kesesuaian tambak udang windu (*Penaeus monodon*) di Desa Oensuli Kabupaten Muna Sulawesi Tenggara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 13(1), 141-150. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v13i1.28511>
- Erlina, A., Hartoko, A., Suminto. (2007). Kualitas perairan di sekitar BBPBAP Jepara ditinjau dari aspek produktivitas primer sebagai landasan operasional pengembangan budidaya udang dan ikan. *Jurnal Pasir Laut*, 2(2), 1-17.
- Faisyal, Y., Rejeki, S., Widowati, L. L. (2016). Pengaruh padat tebar terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan bandeng (*Chanos chanos*) di keramba jaring apung di perairan terabrasi Desa Kaliwlingi Kabupaten Brebes. *Journal of Aquaculture Management and Technology*, 5(1), 155-161.
- Febbrianna, V., Muskananfola M. R., & Suryanti. (2017). Produktivitas primer perairan berdasarkan kandungan klorofil-a dan kelimpahan fitoplankton di Muara Sungai Bedono Demak. *Journal of Management of Aquatic Resources*, 6(3), 318-325. <http://dx.doi.org/10.14710/marj.v6i3.20593>
- Firmansyah., M., Tenriawaruwaty, A., & Hastuti. (2021). Studi kualitas air untuk budidaya ikan bandeng (*Chanos chanos* Forsskal) di tambak Kelurahan Samataring Kecamatan Sinjai Timur. *Tarjih: Fisheries and Aquatis Studies*, 1(1), 014-023.
- Gultom, R. C., Dirgayusa, I. G. N. P., & Puspitha, N. L. P. (2019). Perbandingan laju pertumbuhan rumput laut (*Euchema cottonii*) dengan menggunakan sistem budidaya *co-culture* dan *monoculture* di Perairan Pantai Geger, Nusa Dua, Bali. *Journal of Marine Research and Technology*, 2(1), 8-16. <https://doi.org/10.24843/JMRT.2019.v02.i01.p02>
- Hendrajat, E. A., E. Ratnawati dan A. Mustafa. 2018. Penentuan Pengaruh Kualitas Tanah dan Air terhadap Produksi Total Tambak Polikultur Udang Vaname dan Ikan Bandeng di Kabupaten Lamongan, Provinsi Jawa Timur melalui Aplikasi Analisis Jalur. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 10(1): 179-195. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v10i1.21675>
- Ismail, H. D., Aryawati, R., Diansyah, G. (2014). Evaluasi tingkat kesesuaian kualitas air tambak udang berdasarkan produktivitas

- primer PT. Tirta Bumi Nirbaya Teluk Harun Lampung Selatan (studi kasus). *Maspari Journal Marine Science Research*, 6(1), 32-38. <https://doi.org/10.56064/maspari.v6i1.1707>
- Isnaini, R. S., Rejeki, S., & Elfitasari, T. (2021). Analisis parameter biologis (kelimpahan plankton, BOD) pada budidaya udang windu (*Penaeus monodon*) bersama rumput laut (*Gracilaria* sp.) dan kerang hijau (*Perna* sp.) dengan sistem IMTA (*integrated multitrophic aquaculture*). *Jurnal Sains Akuakultur*, 5(1): 41-50. <https://doi.org/10.14710/crepido.v25i.39-42>
- Jantia, T. D., Muarif, & Mumpuni, F. S. (2020). Pertumbuhan ikan bandeng (*Chanos chanos*) pada tambak silvoakuakultur di Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Mina Sains*, 6(2), 59-66. <https://doi.org/10.30997/jmss.v6i2.3263>
- Lustianto, A. F., Anggoro, S., & Widyorini, N. (2020). Pola osmoregulasi, kebiasaan makanan dan faktor kondisi ikan bandeng (*Chanos chanos*) di Tambak Desa Bakaran Wetan, Pati. *Management of Aquatic Resources Journal (Maquares)*. 9(1), 81-89. <https://doi.org/10.14710/marj.v9i1.27763>
- Minarseh, L., Suhaeni, & Amrullah, S. H. (2021). Analisis morfologi dan kadar protein ikan bandeng (*Chanos chanos*) dari tambak budidaya monokultur dan polikultur (*Gracilaria* sp.) di Kecamatan Bua Kabupaten Luwu. *Prosiding Biologi Achieving the Sustainable Development Goals with Biodiversity in Confronting Climate Change*, 7(1), 308-317 <https://doi.org/10.24252/psb.v7i1.24534>
- Nashrullah, M. F., Susanto, A. B., Pratikto, I., & Yati, E. (2021). Analisis keseuaian lahan budidaya rumput laut *Kappaphycus alvarezii* (Doty) menggunakan citra satelit di Perairan Pulau Nusa Lebung, Bali. *Journal of Marine Research*, 10(3), 345-354. <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i3.30507>
- Patahiruddin. (2020). Pengaruh kerapatan bibit terhadap pertumbuhan rumput laut *Gracilaria verrucosa* pada tambak budidaya bandeng (*Chanos chanos*) di Kabupaten Luwu Sulawesi Selatan. *Fisheries of Wallacea Journal*, 1(1), 37-44. <http://dx.doi.org/10.55113/fwj.v1i1.323>
- Permanasari, S. W. A., Saputra, S., Kusriani, & Widjanarko, P. (2019). Tingkat kesuburan dan potensi udang vaname di tambak UPT Perikanan Air Payau dan Laut Probolinggo. *Media Akuakultur*, 14(2), 89-95. <http://dx.doi.org/10.15578/ma.14.2.2019.89-95>
- Radiarta, I. N., Erlania, Sugama, K. (2014). Budidaya rumput laut, *Kappaphycus alvarezii* secara terintegrasi dengan ikan kerapu di Teluk Gerupuk Kabupaten Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Riset Akuakultur*, 9(1), 125-134. <http://dx.doi.org/10.15578/jra.9.1.2014.125-134>
- Rejeki, S., Ariyati, R. W., Widowati, L. L., & Bosma, R. H. (2018). The effect of three cultivation methods and two seedling types on growth, agar content and gel strength of *Gracilaria verrucosa*. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 44(1), 65-70. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.01.001>
- Rohman, A., Aryati, R. W., & Rejeki, S. (2018). Penentuan keseuaian wilayah pesisir Muara Gembong, Kabupaten Bekasi untuk lokasi pengembangan budidaya rumput laut dengan pemanfaatan sistem informasi geografis (SIG). *Sains Akuakultur Tropis: Indonesian Journal of Tropical Aquaculture*, 2(1), 73-82. <https://doi.org/10.14710/sat.v2i1.2562>
- Rosmiati, Harlina, Suryati, E., Daud, R., & Herlinah. (2019). Performa bibit rumput laut *Gracilaria verrucosa* hasil kultur jaringan dengan budidaya metode sebar (broadcast) di tambak Kabupaten Sinjai. *Jurnal Riset Akuakultur*, 14(3), 145-152. <http://dx.doi.org/10.15578/jra.14.3.2019.145-152>
- Septiningsih, E., & Tahe, S. (2020). Pemasarakatan teknologi polikultur udang windu *Penaeus monodon* Fabr., ikan bandeng *Chanos chanos* Froskal dan rumput laut *Gracilaria verrucosa* di tambak. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 11(1), 29-38. <https://doi.org/10.20956/jal.v11i1.9567>

- Silaban, S. M., Thamrin, & Siregar, S. H. (2022). Abundance of phytoplankton and primary productivity levels in the waters of Kasiak Island West Sumatera Province. *Journal of Coastal and Ocean Sciences*, 3(2), 125-131. <https://doi.org/10.31258/jocos.3.2.125-131>
- Sitepu, D. M. Br., Perwira, I. M., & Kartika, I. W. D. (2021). Kandungan nitrat dan fosfat pada air di Sungai Talagawaja Kabupaten Karangasem, Bali. *Current Trends in Aquatic Science*, 4(2), 212-218.
- Sunaryo, A. 2017. Produktivitas primer di Waduk Ir. H. Juanda Kabupaten Purwakarta Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Penyuluhan Perikanan dan Kelautan*, 11(2), 110-120. <http://dx.doi.org/10.33378/jppik.v11i2.89>
- Suseno, D. A. N., Waluyo, B. P., Rahardjo, S., Surahmat, D., Supriyadi, B., & Priono, B. (2021). Analisis faktor produksi budidaya udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) di Tambak HDPE (*high destiny polyethylene*) Pulokerto Pasuruan. *Jurnal Penelitian Chanos chanos*, 19(1), 99-104. <http://dx.doi.org/10.15578/chanos.v19i1.9600>
- Utama, D., Widigdo, B., Kamal, M. M., & Taryono. (2023). Evaluasi kesesuaian tambak budidaya udang vaname dengan tingkat teknologi berbeda di pesisir Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Riset Akuakultur*, 17(4), 235-248. <http://dx.doi.org/10.15578/jra.17.4.2022.235-248>
- Wahyuningsih, S., & Gitarama, A. M. (2020). Amonia pada sistem budidaya ikan. *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 5(2), 112-125. <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v5i2.929>
- Yulistiana, U., Damayanti, A. A., Cokrowati, N. 2020. Pertumbuhan *Gracilaria* sp. yang dibudidayakan pada tambak di Bajo Baru Dompu. *REKAYASA Journal of Science and Technology*, 13(3), 212-218. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v13i3.9013>
- Zulfiah, N., & Aisyah. (2013). Status trofik perairan Rawa Pening ditinjau dari kandungan unsur hara (NO₃ dan PO₄) serta klorofil-a. *Bawal Widya Riset Perikanan Tangkap*, 5(3), 189-199. <http://dx.doi.org/10.15578/bawal.5.3.2013.189-199>