

Aktivitas Antibakteri Dari Ekstrak *Kappaphycus alvarezii* Pada Musim Peralihan II terhadap Bakteri Patogen *Aeromonas hydrophila*

Rheamyta Carissa Siregar, Mahmiah*, Nirmalasari Idha Wijaya

Program Studi Oseanografi, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah Surabaya
Jl. Arif Rahman Hakim No. 150, Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60111 Indonesia
Corresponding author, email: mahmiah@hangtuah.ac.id

ABSTRAK: *Aeromonas hydrophila* merupakan bakteri patogen yang dapat menimbulkan penyakit MAS (*Motile Aeromonas Septicemia*). Keberadaan bakteri *A. hydrophila* yang melimpah pada suatu perairan sangat membahayakan bagi kultivan yang berada pada perairan tersebut khususnya pada ikan. Bakteri *A. hydrophila* tersebut termasuk kedalam bakteri patogen yang saat menginfeksi tubuh ikan akan menghasilkan toksin atau racun. Untuk itu perlu adanya pencegahan dengan menggunakan bahan alami yang ramah lingkungan, seperti rumput laut karena memiliki komponen bioaktif potensial sebagai antibakteri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan metabolit sekunder yang terdapat dalam ekstrak rumput laut merah *K. alvarezii* dan potensi antibakteri terhadap pertumbuhan bakteri patogen *A. hydrophila* dengan larutan etanol 96%. Pengambilan sampel dilakukan pada Musim Peralihan II di bulan Oktober 2023. Uji fitokimia dilakukan secara kualitatif dengan skrining fitokimia, sementara uji antibakteri menggunakan metode difusi agar (*paper discs*) dengan konsentrasi 2,5%, 5%, 10%, 20%, dan 40%. Hasil uji fitokimia rumput laut *K. alvarezii* menghasilkan senyawa alkaloid, tanin, saponin, dan steroid. Uji antibakteri menunjukkan zona hambat pada stasiun 1 lebih besar daripada stasiun 2 dengan hasil berturut-turut 7,35 mm; 7,68 mm; 7,97 mm; 9,32 mm; 10,08 mm pada stasiun 1. Kualitas perairan di stasiun 1 lebih baik yang dapat mempengaruhi metabolit rumput laut dan menghasilkan zona hambat yang besar dibandingkan stasiun 2. Penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas perairan mempengaruhi kandungan metabolit bioaktif dalam rumput laut, yang selanjutnya berdampak pada potensi antibakterinya. Selain itu, rumput laut *K. alvarezii* dapat menjadi solusi alternatif yang efektif dan ramah lingkungan untuk penyakit pada budidaya ikan yang disebabkan oleh *A. hydrophila*.

Kata kunci: *Aeromonas hydrophila*; Antibakteri; *Kappaphycus alvarezii*; Musim peralihan II

Antibacterial Activity of *Kappaphycus alvarezii* Extract In Season II Against The Patogent Bacteri *Aeromonas hydrophila*

ABSTRACT: *Aeromonas hydrophila* is a pathogenic bacterium that can cause MAS (*Motile Aeromonas Septicemia*) disease. The abundant presence of *A. hydrophila* bacteria in a body of water is very dangerous for cultivars in the water, especially fish. *A. hydrophila* bacteria are included in pathogenic bacteria that when infecting the fish body will produce toxins or toxins. For this reason, prevention is needed by using environmentally friendly natural ingredients, such as seaweed because it has potential bioactive components as antibacterials. This study aims to determine the content of secondary metabolites contained in *K. alvarezii* red seaweed extract and antibacterial potential against the growth of pathogenic bacteria *A. hydrophila* with 96% ethanol solution. Sampling was carried out in Transitional Season II in October 2023. Phytochemical tests were carried out qualitatively by phytochemical screening, while antibacterial tests used the agar diffusion method (*paper discs*) with concentrations of 2.5%, 5%, 10%, 20%, and 40%. The results of the phytochemical test of *K. alvarezii* seaweed produced alkaloid, tannin, saponin, and steroid compounds. The antibacterial test showed that the inhibition zone at station 1 was greater than station 2 with consecutive results of 7.35 mm; 7.68 mm; 7.97 mm; 9.32 mm; 10.08 mm at station 1. The water quality at station 1 is better which can affect the metabolites of seaweed and produce a

large inhibition zone compared to station 2. This study shows that water quality affects the content of bioactive metabolites in seaweed, which in turn has an impact on its antibacterial potential. In addition, *K. alvarezii* seaweed can be an effective and environmentally friendly alternative solution for diseases in fish farming caused by *A. hydrophila*.

Keywords: *Aeromonas hydrophila*; Antibacterial; *Kappaphycus alvarezii*; Transitional season II

PENDAHULUAN

Aeromonas hydrophila merupakan bakteri patogen yang dapat menimbulkan penyakit MAS (*Motile Aeromonas Septicemia*) terutama untuk spesies ikan air tawar di perairan tropis dan ikan air payau (Saragih, 2024). Tinggi kandungan bahan organik pada suatu perairan akan menyebabkan munculnya bakteri *A. hydrophila* pada perairan tersebut. Keberadaan bakteri *A. hydrophila* yang melimpah di suatu perairan dapat membahayakan bagi kultivan budidaya yang berada pada perairan tersebut. Manusia dapat tertular *A. hydrophila* yang beberapa penyakit, termasuk gastroenteritis, infeksi kulit, dan akan mengalami diare serta sakit perut (Shrestha *et al.*, 2021; Beaz-Hidalgo & Figueras, 2023). Pencegahan penyakit *Aeromonas* dapat dilakukan dengan menaikkan temperatur air, mengganti air segar dan meningkatkan kualitas lingkungan, namun perlu dilakukan upaya suatu zat antibakteri untuk menghambat bakteri tersebut yang aman terhadap lingkungan dan bersumber dari bahan alam yang dapat berpotensi sebagai antibakteri seperti rumput laut (Abdelsalam *et al.*, 2022).

Rumput laut merupakan salah satu tanaman laut yang memiliki komponen bioaktif potensial sebagai antibakteri. Rumput laut kaya akan senyawa fenolik, warna alami, polisakarida sulfat, dan serat yang bermanfaat bagi kesehatan manusia (Zainuddin dan Nofianti, 2022). Rumput laut mengandung senyawa metabolit sekunder seperti Alkaloid, Flavonoid, Terpenoid, Tanin dan Saponin. Rumput laut memiliki spektrum yang luas dan kuat terhadap aktivitas biologis pada bakteri patogen, baik pada patogen medis, pertanian, lingkungan, maupun kegiatan budidaya perikanan (Pratiwy, 2022). Salah satu jenis rumput laut yang menghasilkan antibakteri yaitu *Kappaphycus alvarezii*. *K. alvarezii* merupakan salah satu jenis rumput laut merah yang dapat ditemukan di Indonesia. Penelitian mengenai aktivitas *K. alvarezii* sebagai antibakteri telah banyak dilakukan. Ekstrak *Euचेuma cottonii* di perairan Desa Saronggi, Kabupaten Sumenep memiliki aktivitas antibakteri *A. hydrophila* (Putri *et al.*, 2021). Ekstrak *E. cottonii* di perairan Desa Sathean, Maluku Tenggara memiliki aktivitas antibakteri *Aeromonas hydrophila* (Effendi *et al.*, 2023). Pertumbuhan *K. alvarezii* dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan seperti temperatur, salinitas, dan kondisi nutrisi. Perubahan musim juga dapat mempengaruhi produktivitas rumput laut (Prasetyo *et al.*, 2024).

Perubahan musim dapat mempengaruhi pertumbuhan rumput laut seperti *Kappaphycus alvarezii* tergantung pada kondisi lingkungannya (Badraeni *et al.*, 2020). Pada musim hujan akan mengakibatkan penurunan kadar garam dalam air laut, sedangkan pada musim kemarau akan mengakibatkan peningkatan kadar garam dalam air laut. Hal ini dapat mempengaruhi pertumbuhan rumput laut karena kepekaan terhadap perubahan salinitas. Pada musim peralihan dapat mengakibatkan perubahan dalam nutrisi yang tersedia di perairan dan juga dapat mengubah pola arus dan pencampuran air di perairan yang dapat mempengaruhi distribusi nutrisi dan temperatur habitat rumput laut (Santoso & Hatta, 2020). Musim Peralihan II memiliki kondisi lingkungan yang unik selama transisi dari musim kemarau ke musim hujan. Pada masa ini, intensitas cahaya matahari masih tinggi, sementara pola arus dan limpasan air tawar dari daratan mulai berubah. Faktor yang memengaruhi kualitas perairan yang berdampak langsung pada pertumbuhan dan kandungan metabolit sekunder rumput laut (Syahrul *et al.*, 2023; Das *et al.*, 2023). Selain perubahan musim ada faktor eksternal yang dapat berpengaruh dalam pertumbuhan rumput laut.

Faktor eksternal yang berpengaruh terhadap pertumbuhan rumput laut yaitu salinitas, temperatur, Potensial Hidrogen (pH), *Dissolved Oxygen* (DO), dan arus (Siddiqi *et al.*, 2024).

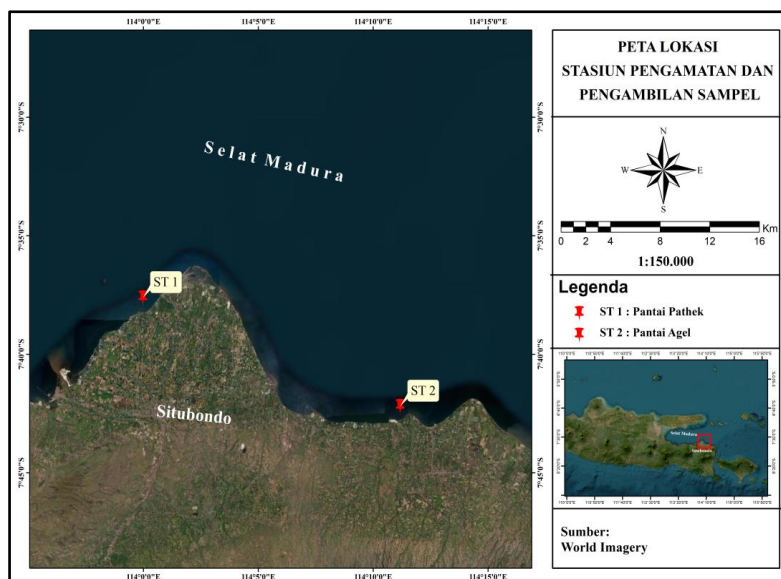
Fotosintesis merupakan proses penting dalam pertumbuhan rumput laut (Siddiqui *et al.*, 2024). Kualitas rumput laut sangat dipengaruhi oleh lokasi, metode budidaya dan waktu tanam yang terkait dengan kualitas air dan ketersediaan nutrisi yang mendukung pertumbuhannya. Perbedaan lingkungan biasanya juga berbeda kualitas perairannya, hal ini akan berpengaruh terhadap kandungan bioaktif rumput laut. Arus mempunyai peran penting dalam proses pertumbuhan rumput laut dalam transpor nutrisi dan dapat mempermudah penyerapan nutrisi (Lase *et al.*, 2020).

Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian terhadap rumput laut berasal dari Pantai Pathek dan Pantai Agel, Situbondo karena pada kedua lokasi tersebut terdapat budidaya rumput laut yang memiliki kualitas perairan yang berbeda. Pada Pantai Pathek di kelilingi oleh tambak pembenihan udang yang di duga menjadi limbah dan dapat menyebabkan stres pada rumput laut (Pires *et al.*, 2021; Nauta *et al.*, 2025). Sehingga mempengaruhi metabolit yang terkandung didalamnya. Rumput laut *K. alvarezii* dapat berpotensi sebagai antibakteri *A. hydrophila*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas perairan dan kandungan metabolit sekunder dalam ekstrak rumput laut *K. alvarezii* di Pantai Pathek dan Pantai Agel, Situbondo pada Musim Peralihan II bulan Oktober serta mengetahui ekstrak rumput laut *K. alvarezii* sebagai potensi antibakteri terhadap *A. hydrophila*.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2023 hingga Mei 2024. Lokasi pengambilan sampel dan kualitas perairan berada di perairan budidaya rumput laut Situbondo pada Pantai Pathek (stasiun 1) dan Pantai Agel (stasiun 2) yang disajikan pada Gambar 1. Preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Kimia, Universitas Hang Tuah dan pengujian antibakteri dilakukan di Mikrobiologi Fakultas Kedokteran, Universitas Hang Tuah. Bakteri *A. hydrophila* diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan dilakukan determinasi rumput laut *K. alvarezii* di Laboratorium Basah Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga.

Metode pengumpulan data dilakukan dengan pengambilan data primer. Dimana pengambilan data primer dilakukan secara langsung (Wijayanti & Fitriani, 2023), meliputi pengambilan sampel rumput laut, kualitas perairan seperti temperatur, salinitas, pH, dan *Dissolved Oxygen* (DO). Pengukuran diambil pada pukul 09.30 untuk stasiun 1 dan pukul 13.00 untuk stasiun 2. Pengambilan data sekunder yaitu pola arus selama 1 bulan didapat dari *Copernicus* (marine.copernicus.eu) dan diolah menggunakan ArcGis.



Gambar 1. Lokasi penelitian pengambilan rumput laut dan kualitas perairan

Preparasi sampel dengan mencuci rumput laut menggunakan air mengalir untuk menghilangkan kotoran yang menempel. Setelah itu dilakukan pengeringan untuk membantu mengurangi kadar air di dalam sampel sehingga memudahkan proses analisis lebih lanjut (Liu dan Pang, 2018). Rumput laut dipotong kecil-kecil untuk mempersiapkan sampel yang homogen dan sesuai dengan kebutuhan analisis (Chen *et al.*, 2020).

Proses ekstraksi menggunakan teknik maserasi dan remaserasi dengan perbandingan pelarut etanol dan sampel sebesar 4:1 selama 2x24 jam. Proses ekstraksi maserasi adalah metode yang umum digunakan untuk mengambil senyawa-senyawa aktif dari bahan tumbuhan, termasuk rumput laut yang dilakukan selama 1x24 jam. Setelah itu, remaserasi dilakukan untuk memaksimalkan ekstraksi dengan mengulangi proses maserasi menggunakan pelarut yang segar, selama 1x24 jam. Hasil remaserasi dipekatkan menggunakan *rotary evaporator* pada temperatur ± 35 °C. Rendemen ekstrak dihitung dengan rumus (Yainahu *et al.*, 2023):

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Jumlah berat ekstrak kental (g)}}{\text{Jumlah berat kering (g)}} \times 100\%$$

Uji Alkaloid dengan menambahkan 1 ml ekstrak rumput laut dan 2 tetes reagen dragendorff. Ekstrak yang positif mengandung alkaloid akan menunjukkan warna orange atau merah pada presipitat (Putri *et al.*, 2022). Uji Terpenoid/Steroid dengan menambahkan 1 ml ekstrak dan 2 tetes reagen asam asetat dan asam sulfat hingga perubahan warna hijau-biru menunjukkan adanya steroid dan jika perubahan warna merah-ungu menunjukkan adanya triterpenoid (Masela, 2021). Uji Saponin dengan menambahkan kurang lebih 0,5 ml sampel rumput laut dan 5 ml aquades kemudian dikocok hingga terbentuk busa stabil (Juanda *et al.*, 202). Uji Flavonoid dengan menambahkan 0,5 ml ekstrak dan 0,5 gram serbuk magnesium dan 5 ml HCL pekat. Ekstrak yang positif mengandung flavonoid akan menunjukkan warna kekuningan pada presipitat (Masela, 2021). Uji Tanin dengan menambahkan kurang lebih 1ml ekstrak dan 2 tetes reagen FeCl₃ 1%, hingga terjadi perubahan warna, kemudian warnanya dibandingkan dengan ekstrak murni, maka akan tampak warna lebih hitam jika positif (Prananda *et al.*, 2025).

Uji antibakteri dilakukan menggunakan metode difusi cakram (*paper disk*) dengan konsentrasi 2,5%, 5%, 10%, 20%, dan 40% untuk kontrol positif menggunakan kloramfenikol 30 µg dan kontrol negatif menggunakan aquades. Metode difusi agar menggunakan *paper disk* ditetesi ekstrak rumput laut masing-masing 15 µl (Sinurat *et al.*, 2019). Penuangan media kecawan petri steril sekitar 20 ml dan ditunggu sampai menjadi padat, kemudian swab suspensi bakteri patogen *Aeromonas hydrophila* yang sudah disesuaikan kekeruhannya dengan Mc Farland 0,5 lalu taruh *paper disk* yang sudah di tetesi ekstrak rumput laut 15 µl. Setelah itu, di inkubasi pada suhu 37 °C selama 24 jam dan diukur zona hambatnya (Waruwu *et al.*, 2024).

Analisis data pertama berupa diameter zona hambat hasil uji aktivitas antibakteri. Zona hambat diukur dengan menggunakan jangka sorong pengukuran dilakukan secara horizontal, vertikal, dan diagonal pada zona bening yang terbentuk disekitar *paper disc* kemudian dirata-rata. Menurut Davis dan Stout (1971) dalam Waruwu *et al.* (2024) pengukuran diameter daerah hambat memiliki kategori kekuatan daya antibakteri pada diameter daerah hambat disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kategori kekuatan daya antibakteri pada diameter hambat

No	Diameter zona hambat	Kategori
1	<5 mm	Lemah
2	5 - 10 mm	Sedang
3	10 - 20 mm	Kuat
4	>20 mm	Sangat kuat

Tabel 2. Kategori koefisien korelasi pearson

No	Nilai Korelasi	Kategori Korelasi
1	$0 < r \leq 0,19$	Sangat rendah
2	$0,2 \leq r \leq 0,39$	Rendah
3	$0,4 \leq r \leq 0,59$	Sedang
4	$0,6 \leq r \leq 0,79$	Kuat
5	$0,8 \leq r \leq 1,0$	Sangat kuat

Selanjutnya dilakukan analisis data penelitian ini menggunakan software SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) dengan metode statistik yaitu menggunakan korelasi pearson. Korelasi Pearson (r) digunakan untuk mengetahui kuat atau tidak hubungan antar variabel dapat ditunjukkan dengan koefisien korelasi antara sangat lemah hingga sangat kuat. Nilai korelasi memiliki koefisien korelasi pearson disajikan pada Tabel 2.

Analisis korelasi kualitas perairan terhadap metabolit sekunder dilakukan untuk memahami pengaruh parameter lingkungan terhadap kandungan metabolit sekunder pada rumput laut. Pengukuran parameter kualitas perairan, seperti temperatur, pH, salinitas, dan kecepatan arus, dilakukan secara langsung di lapangan. Sampel rumput laut dikumpulkan di lokasi yang sama untuk dianalisis kandungan metabolit sekundernya di laboratorium.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan sampel rumput laut *K. alvarezii* telah diperoleh dari kawasan budidaya di perairan laut situbondo, dengan berat sampel basah di stasiun 1 dan stasiun 2 masing-masing sekitar 5,3 kg. Setelah dikeringkan menjadi serbuk, berat kering dari masing-masing stasiun adalah 288,8 g untuk stasiun 1 dan 267,7 g untuk stasiun 2, seperti disajikan pada Tabel 3.

Ekstrak rumput laut *K. alvarezii* menggunakan pelarut etanol 96%. Pada stasiun 1 menghasilkan ekstrak berbentuk pasta kental dan kristal dengan berat 6,957 gram dan stasiun 2 menghasilkan ekstrak ekstrak berbentuk pasta kental dan cair dengan berat 15,094 gram. Presentase rendemen yang diperoleh masing-masing adalah 0,138% untuk stasiun 1 dan 0,301 % untuk stasiun 2, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Hasil uji fitokimia ekstrak rumput laut *K. alvarezii* menunjukkan bahwa ekstrak mengandung senyawa alkaloid, tanin, saponin, dan steroid, seperti ditunjukkan pada Tabel 5. Alkaloid dan tanin menghasilkan perubahan warna yang lebih pekat pada Stasiun 1. Kandungan senyawa ini menunjukkan potensi antibakteri dari rumput laut *K. alvarezii*.

Berdasarkan pengujian skrining fitokimia yang dihasilkan dari ekstrak rumput laut *K. alvarezii* menunjukkan bahwa pelarut etanol 96% positif senyawa saponin, tanin, alkaloid dan steroid. Hal ini disebabkan karena etanol 96% merupakan pelarut yang tidak toksik, absorbsinya baik dan kemampuan penyaringannya tinggi sehingga dapat menyaring senyawa yang bersifat non polar, semi polar, dan polar (Wendersteyt *et al.*, 2021).

Senyawa alkaloid dan saponin pada ekstrak rumput laut memiliki kemampuan sebagai antibakteri (Oematan *et al.*, 2016; Suryaningtyas *et al.*, 2021). Senyawa saponin dalam ekstrak rumput laut dapat menyebabkan kebocoran protein dan enzim dari dalam sel bakteri. Tanin memiliki senyawa fenol dengan gugus hidroksil, yang memanfaatkan perbedaan polaritas antara lipid dan gugus hidroksil untuk mengaktifkan bakteri dan mengganggu struktur bakteri. Semakin tinggi kandungan lipid dalam sel bakteri, semakin besar konsentrasi tanin yang dibutuhkan untuk menyebabkan lisis pada bakteri tersebut. Senyawa steroid/triterpenoid juga memiliki potensi sebagai senyawa antibakteri. Senyawa steroid/triterpenoid dalam ekstrak rumput laut berperan menghambat pertumbuhan bakteri. Mekanisme penghambatannya terjadi melalui inhibisi sintesis protein, di mana senyawa ini terakumulasi dan menyebabkan perubahan pada komponen penyusun sel bakteri itu sendiri juga memiliki potensi sebagai senyawa antibakteri (Akib *et al.*, 2020).

Tabel 3. Berat basah dan kering pada sampel rumput laut *K. alvarezii*

No	Stasiun	Barat Basah (kg)	Berat Kering (g)
1	Stasiun 1	5,3	288,8
2	Stasiun 2	5,3	267,7

Tabel 4. Berat ekstrak rumput laut *K. alvarezii* dan rendemen dengan pelarut etanol 96%

No	Stasiun	Berat Sampel yang digunakan (g)	Berat Ekstrak (g)	Rendemen (%)
1	Stasiun 1	50,562	6,957	0,138
2	Stasiun 2	50,116	15,094	0,301

Tabel 5. Hasil uji fitokimia rumput laut *K. alvarezii* dengan pelarut etanol 96%

Uji Fitokimia	Stasiun 1	Keterangan	Stasiun 2	Keterangan
Alkaloid	++	Endapan jingga	+	Endapan merah kecoklatan
Flavonoid	-		-	
Tanin	++	Coklat kehijauan	+	Coklat kehijauan
Saponin	+	Busa	+	Busa
Steroid	+	Hijau	+	Hijau

Ket. + : terjadi perubahan warna/bereaksi; ++: terjadi perubahan warna lebih pekat/bereaksi lebih kuat; - : tidak terjadi reaksi.

Hasil uji aktivitas antibakteri ekstrak *K. alvarezii* menunjukkan terjadinya penghambatan terhadap bakteri *A. hydrophila* yang ditandai dengan adanya zona bening disekitar kertas cakram. Hasil uji antibakteri ekstrak *K. alvarezii* terhadap bakteri *A. hydrophila* ditunjukkan pada Gambar 2.

Hasil pengujian antibakteri oleh ekstrak rumput laut *K. alvarezii* yaitu pada Konsentrasi 40% dengan besar zona hambat pada stasiun 1 yaitu 10,08 mm dan stasiun 2 yaitu 8,75 mm, sedangkan diameter daerah hambatan terkecil yang dihasilkan pada Konsentrasi 2,5% dengan besar zona hambat pada stasiun 1 yaitu 7,35 mm dan stasiun 2 yaitu 6,50 mm (Tabel 6). Semakin tinggi konsentrasi ekstrak yang diberikan maka zona hambat yang dihasilkan juga semakin besar (Marta *et al.*, 2023).

Hasil pengukuran kualitas perairan pada kedua lokasi pengambilan sampel memiliki nilai yang berbeda seperti yang disajikan pada Tabel 7. Salinitas merupakan faktor yang penting bagi pertumbuhan rumput laut. Salinitas yang rendah menyebabkan pertumbuhan rumput laut menjadi tidak normal. Doty (1973) dalam Rosdiana *et al.* (2024) menyatakan bahwa salinitas yang dikehendaki oleh rumput laut *Eucauma* yaitu berkisar antara 29 – 34 ‰. Salinitas perairan Situbondo pada stasiun 1 yaitu 29,8 ‰ dan stasiun 2 yaitu 27 ‰. Hal ini menunjukkan bahwa perairan pada stasiun 1 masih tergolong dalam kondisi yang baik untuk pertumbuhan rumput laut.

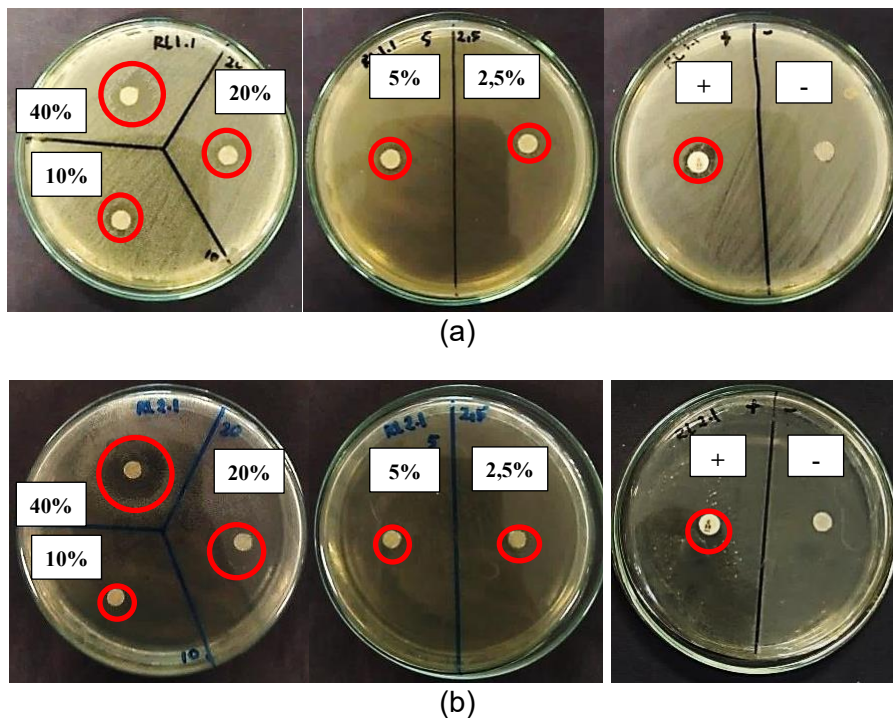
Temperatur merupakan salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi pertumbuhan rumput laut. Temperatur dapat berpengaruh terhadap beberapa fungsi fisiologis rumput laut seperti proses fotosintesis, respirasi, metabolisme, pertumbuhan dan reproduksi (Hasanuddin *et al.*, 2024). Menurut Hidayah *et al.* (2020) temperatur optimum yang sesuai untuk pertumbuhan rumput laut pada genus *Eucauma* berkisar antara 27,7 - 31 °C. Temperatur perairan Situbondo pada stasiun 1 yaitu 30,7 °C dan stasiun 2 yaitu 32,2 °C. Hal ini menunjukkan bahwa perairan pada stasiun 1 masih tergolong dalam kondisi yang baik untuk pertumbuhan rumput laut.

Derajat keasaman (pH) berperan penting dalam pertumbuhan dan perkembangan rumput laut. Menurut WWF-Indonesia (2014), pH perairan yang baik untuk budidaya rumput laut adalah kisaran pH 7 – 8,5. pH perairan Situbondo pada stasiun 1 yaitu 7,7 dan stasiun 2 yaitu 7,6. Hal ini menunjukkan bahwa perairan pada stasiun 1 dan 2 masih tergolong dalam kondisi yang baik untuk pertumbuhan rumput laut.

Tabel 6. Hasil Zona Hambat Ekstrak *K. alvarezii* terhadap *A. hydrophila* dengan konsentrasi 2,5%, 5%, 10%, 20%, dan 40%, kontrol positif dan kontrol negatif

Stasiun	Konsentrasi	Diameter Zona Hambat (mm)			Rata-rata Standart Deviasi (mm)
		Pengulangan			
		1	2	3	
1	40%	8,75	8,98	12,51	10,08 ± 2,50
	20%	8,66	8,75	10,53	9,32 ± 1,26
	10%	6,00	8,16	9,75	7,97 ± 1,12
	5%	6,00	7,83	9,20	7,68 ± 0,97
	2,5%	6,00	7,76	8,27	7,35 ± 0,36
	Kontrol (+)	8,56	8,42	8,84	8,60 ± 0,30
2	40%	12,64	8,59	8,43	9,88 ± 0,11
	20%	8,87	7,55	7,31	7,91 ± 0,17
	10%	7,49	7,13	7,34	7,32 ± 0,15
	5%	7,63	7,15	7,03	7,27 ± 0,08
	2,5%	7,30	6,66	6,54	6,83 ± 0,08
	Kontrol (+)	8,78	8,34	8,58	8,57 ± 0,17

Ket: Kontrol positif (+) = antibiotik kloramfenikol 30µg dan kontrol negatif (-) = aquades

**Gambar 2.** Hasil uji antibakteri ekstrak rumput laut *K. alvarezii* terhadap bakteri *A. hydrophila* dengan konsentrasi 2,5%, 5%, 10%, 20%, dan 40%, kontrol (+) dan kontrol (-) pada (a) stasiun 1 dan (b) stasiun 2

Oksigen terlarut (DO) merupakan salah satu faktor yang penting dalam kehidupan organisme untuk proses respirasi. Oksigen terlarut dalam air umumnya di dapat dari difusi oksigen, arus atau aliran air melalui air hujan dan fotosintesis. Kadar DO bervariasi tergantung pada temperatur, salinitas, turnulensi air dan tekanan atmosfer (Triana & Wahyudi, 2021). Menurut Hidayah *et al.* (2020), DO perairan yang baik untuk budidaya rumput laut adalah kisaran 4–6 mg/l.

DO perairan Situbondo pada stasiun 1 yaitu 2,6 mg/l dan stasiun 2 yaitu 6,6 mg/l. Hal ini menunjukkan bahwa perairan pada stasiun 2 masih tergolong dalam kondisi yang baik untuk pertumbuhan rumput laut.

Kecepatan arus mempengaruhi laju pertumbuhan harian karena merupakan faktor pembawa nutrisi. Selain itu arus yang kuat mampu membersihkan rumput laut dari sedimen yang menempel pada *thallus* sehingga proses fotosintesis dapat berlangsung optimal (Wangge *et al.*, 2022). Hal ini sesuai dengan pendapat Pauwah *et al.* (2022), dalam kecepatan arus yang baik untuk budidaya rumput laut adalah 0,2-0,4 m/s. Pada lokasi yang memiliki nutrisi tinggi, maka kecepatan arus yang lambat sekitar 0,1 m/s sudah dapat mendukung pertumbuhan rumput laut. Pada lokasi yang memiliki nutrisi rendah diperlukan kecepatan arus yang lebih besar tetapi tidak melebihi 0,4 m/s. Erwansyah *et al.* (2021), mengatakan bahwa arus mengontrol kesuburan lokasi pada budidaya rumput laut. Arus perairan Situbondo pada stasiun 1 yaitu 0,04 – 0,08 m/s dan stasiun 2 yaitu 0,00 – 0,03 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa perairan pada stasiun 1 masih tergolong dalam kondisi yang baik untuk pertumbuhan rumput laut.

Kandungan metabolit sekunder rumput laut pada stasiun 1 dan stasiun 2 memiliki senyawa yang sama, namun terdapat sedikit perbedaan reaksi perubahan warna sehingga pada stasiun 1 kandungan alkaloid dan tanin lebih kuat dari pada stasiun 2. Hal ini dikarenakan pada stasiun 1 hasil kualitas perairan lebih baik terhadap pertumbuhan rumput laut, sehingga dapat mempengaruhi aktivitas antibakteri yang terbentuk. Zona hambat yang terbentuk lebih tinggi pada stasiun 1.

Hasil korelasi (r) menunjukkan pada stasiun 1 sebesar 0,97 termasuk dalam kategori sangat kuat. Nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,916 atau 91,6% dan korelasi pada stasiun 2 sebesar 0,99 termasuk dalam kategori sangat kuat. Nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,964 atau 96,4%. Korelasi dapat disajikan pada Gambar 3.

Berdasarkan hasil pengukuran kualitas perairan menunjukkan perbedaan antara stasiun 1 dan stasiun 2 dapat terlihat pada Gambar 4. Hal ini dapat berpengaruh terhadap metabolit sekunder rumput laut. Rumput laut menghasilkan berbagai metabolit sekunder. Produksi metabolit dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti salinitas, temperatur, kecepatan arus dan ketersediaan nutrisi (Wang *et al.*, 2020). Pada salinitas stasiun 1 lebih tinggi dari stasiun 2, Hal ini dikarenakan pada stasiun 2 budidaya rumput laut dekat dengan aliran sungai dan terdapat tambak disekitar pantai. Menurut Hidayah *et al.* (2020) salinitas perairan laut relatif tinggi diduga karena berbatasan langsung dengan laut bebas dan tidak ada pengaruh aliran sungai dari darat.

Pada temperatur lebih tinggi pada stasiun 2 temperatur yang relatif tinggi juga disebabkan oleh intensitas cahaya matahari yang tinggi dan terus menerus sehingga massa air memiliki temperatur yang tinggi (Zhang *et al.*, 2023). Pada derajat keasaman (pH) memiliki nilai yang lebih tinggi di stasiun 1. Menurut Alfatimah *et al.* (2022), Perairan yang sangat asam ataupun basa akan membahayakan kehidupan organisme, karena akan mengakibatkan terjadinya gangguan metabolisme serta respirasi.

Tabel 7. Hasil pengukuran parameter fisika-kimia perairan

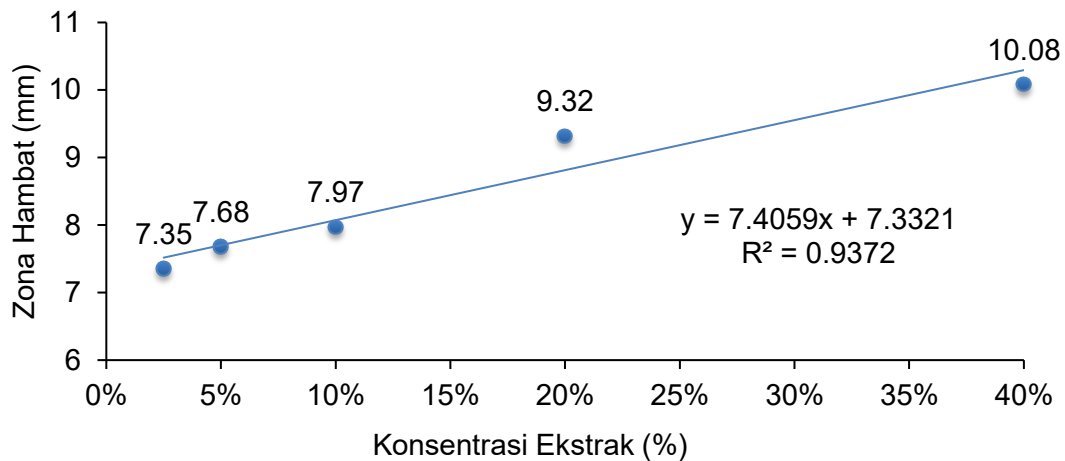
Stasiun	Parameter				
	Salinitas (‰)	Temperatur (°C)	pH	DO (mg/l)	Arus (m/s)
1	29,8	30,7	7,7	2,62	0,04 – 0,08
2	27	32,2	7,6	6,66	0,00 – 0,03
NAB(*)	29 - 34	27,7 - 31	7 – 8,5	4 - 6	0,2 – 0,4

Ket. Nilai Ambang Batas (NAB)

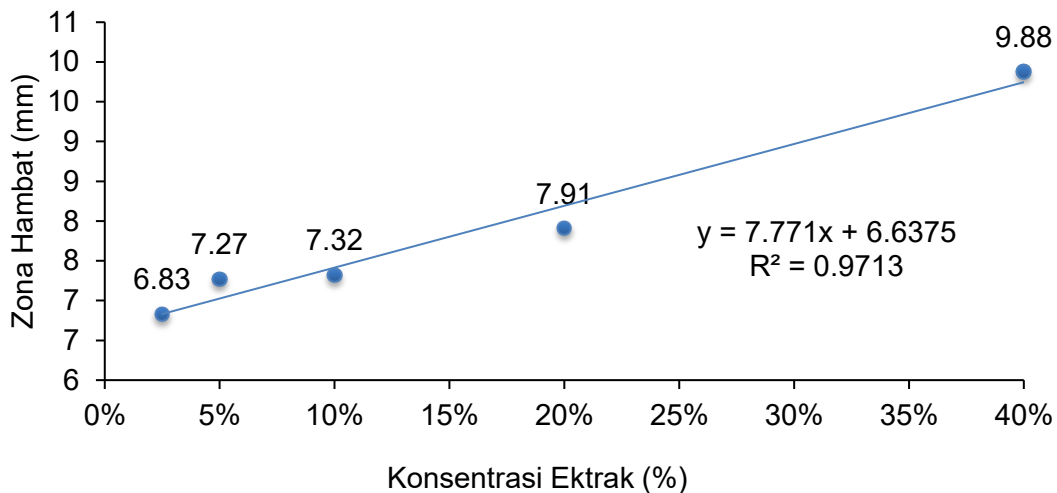
(*) Sumber: Salinitas (Doty, 1973; Dewi dan Ekawaty 2018), temperatur (Hidayah *et al.*, 2020), pH (WWF-Indonesia, 2014), DO (Hidayah *et al.*, 2020), dan Arus (Asni, 2015)

Oksigen terlarut (DO) stasiun 1 lebih rendah daripada stasiun 2 dikarenakan pada stasiun 1 dikelilingi oleh tambak pembenihan udang dan diduga adanya limbah yang dihasilkan pada tambak udang tersebut. Parameter yang ekstrim dapat mengalami stress dan dapat mempengaruhi metabolit pada kandungan rumput laut. Menurut Smith *et al.* (2023) telah diketahui fakta bahwa oksigen terlarut menurun karena berbagai faktor, seperti perubahan suhu dan salinitas yang cepat serta respirasi bahan organik. Kadar DO juga bisa turun akibat masukan nutrisi. Ketika kandungan nutrisi terlalu tinggi, fitoplankton dapat berkembang biak dan mati (Brown & Williams, 2021).

Kondisi kecepatan dan arah arus pada budidaya rumput laut *K. alvarezii* di stasiun 1 dan stasiun 2 dapat dilihat pada Gambar 5. Terlihat adanya perbedaan kecepatan arus antara stasiun 1 dan stasiun 2, di mana kecepatan arus di stasiun 2 lebih kecil dibandingkan stasiun 1. Perbedaan ini dapat memengaruhi metabolisme rumput laut, sehingga menyebabkan sampel dari stasiun 1 memiliki zona hambat uji antibakteri yang lebih besar dibandingkan stasiun 2. Hal ini sesuai dengan pendapat Nikhlani dan Kusumaningrum (2021) yang menyatakan bahwa semakin kuat arus suatu perairan, semakin cepat pula pertumbuhan rumput laut karena difusi nutrisi ke dalam sel tanaman menjadi lebih optimal, yang pada akhirnya mempercepat metabolisme rumput laut.

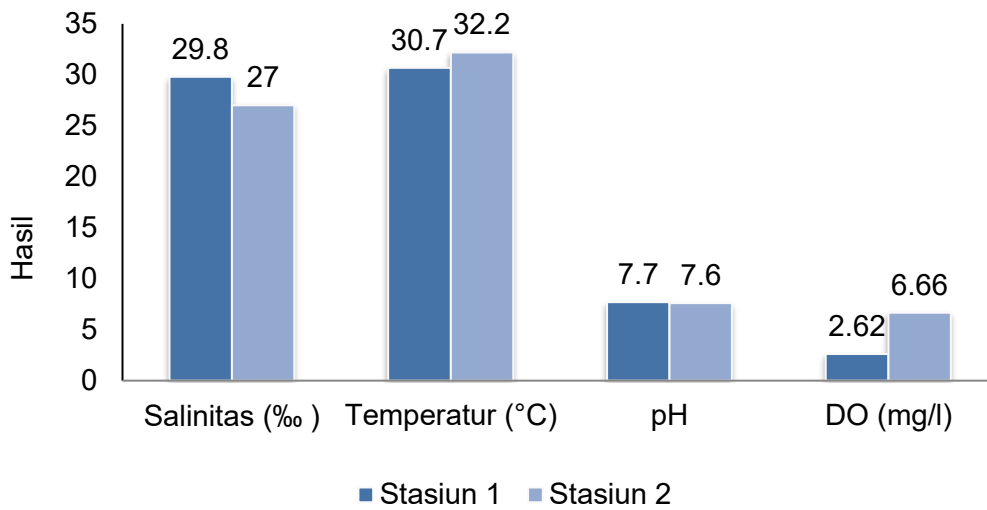


(a)

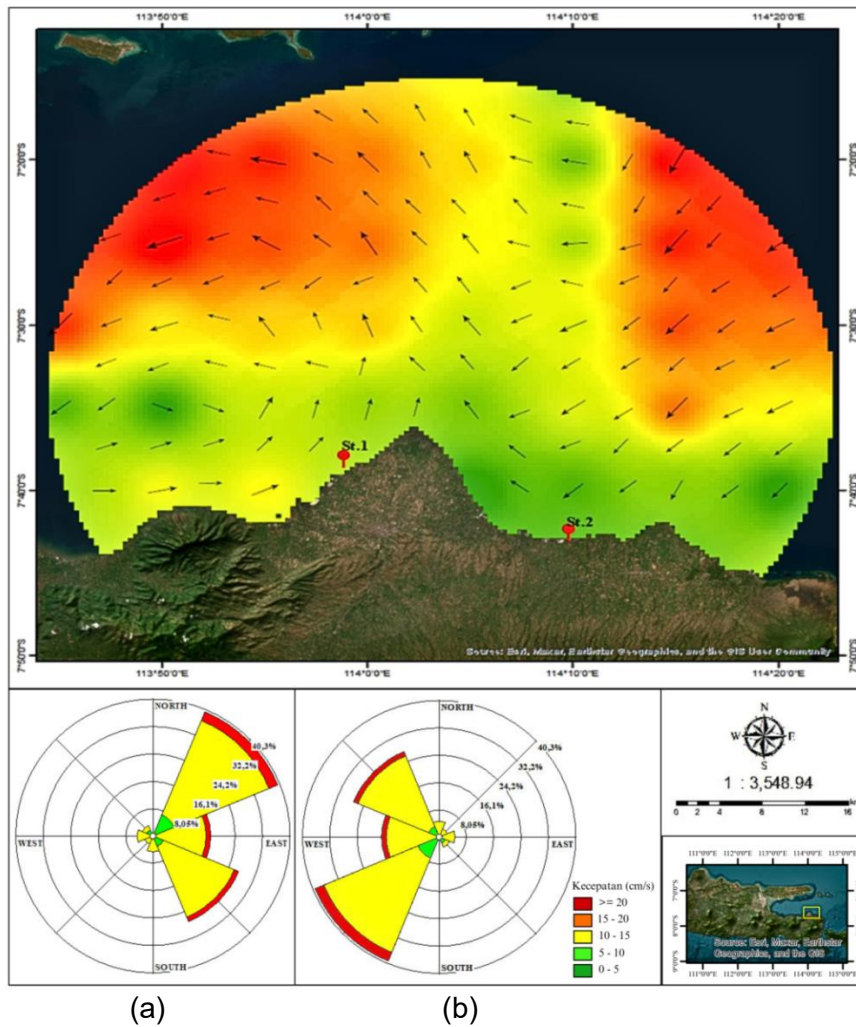


(b)

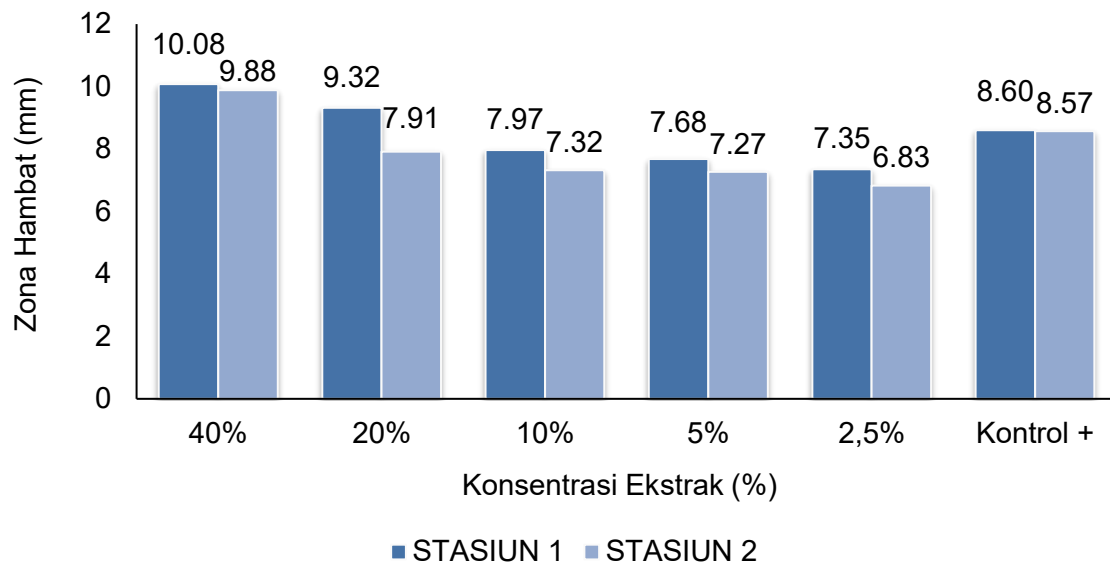
Gambar 3. Korelasi zona hambat pada uji antibakteri rumput laut *K. alvarezii* terhadap bakteri *A. hydrophila* (a) stasiun 1 dan (b) stasiun 2



Gambar 4. Diagram kualitas perairan budidaya rumput laut *K. alvarezii* pada stasiun 1 dan stasiun 2



Gambar 5. Pola arah dan arus permukaan di perairan Situbondo pada musim peralihan II (a) stasiun 1 (b) stasiun 2



Gambar 6. Diagram zona hambat pada uji antibakteri rumput laut *K. alvarezii* terhadap bakteri *A. hydrophila*

Selain kecepatan arus, arah arus berperan penting dalam proses pertumbuhan rumput laut, khususnya dalam membantu transpor nutrisi, memudahkan penyerapan nutrisi dan oksigen di sekitar habitat rumput laut. Pada stasiun 1, arah arus cenderung membawa nutrisi dari perairan terbuka menuju lokasi budidaya, sehingga mendukung difusi nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan rumput laut. Di sisi lain, pada stasiun 2, arah arus yang kurang mendukung distribusi nutrisi berpotensi menghambat penyerapan nutrisi. Menurut Atmanisa (2020), jika arus terlalu pelan, penyerapan nutrisi akan terganggu dan memicu pertumbuhan epifit yang dapat menjadi kompetitor rumput laut dalam menyerap nutrisi. Sebaliknya, arus yang terlalu kencang juga dapat mengurangi efektivitas penyerapan nutrisi, sehingga pertumbuhan rumput laut menjadi kurang optimal.

Hasil pengujian antibakteri menunjukkan rata-rata diameter daerah hambatan pada ekstrak rumput laut terbesar pada stasiun 1 di konsentrasi 40% yaitu sebesar 10,08. Kontrol positif yang digunakan yaitu antibiotik kloramfenikol 30 µg. Penggunaan kloramfenikol untuk membandingkan ekstrak rumput laut terhadap larutan uji pada berbagai konsentrasi mempunyai efek antibakteri sebanding atau lebih kecil dari antibiotik kloramfenikol standar terhadap bakteri uji. Zona hambat pada ekstrak rumput laut terhadap bakteri *A. hydrophila* lebih tinggi dari kontrol positif (Gambar 6). Hal ini menunjukkan larutan uji menghasilkan antibakteri yang kuat dibanding dengan kontrol positif. Perbedaan dalam tingkat aktivitas penelitian ini dibandingkan dengan literatur lain karena perbedaan faktor lingkungan dan jenis senyawa bioaktif yang terkandung di dalam rumput laut (Widyartini *et al.*, 2023).

Berdasarkan hasil uji fitokimia ekstrak rumput laut *K. alvarezii* mempunyai metabolite sekunder dengan kandungan senyawa yang sama pada kedua lokasi pengambilan sampel, namun reaksi perubahan warna sedikit berbeda. Hal ini diduga karena dipengaruhi oleh parameter lingkungan stasiun yang berbeda sehingga kandungan senyawa pada rumput laut *K. Alvarezii* pada stasiun 1 dan stasiun 2 berbeda. Menurut Febrianto *et al.* (2019), Metabolit sekunder pada rumput laut sangat dipengaruhi oleh parameter lingkungan, sehingga sangat dimungkinkan terdapat perbedaan aktivitas antioksidan pada lokasi yang berbeda. Kecepatan arus diperairan juga dapat berdampak pada perbedaan metabolit sekunder. Menurut Smith & Jones (2018), Semakin kuat arus, semakin cepat pertumbuhan rumput laut karena difusi nutrisi ke dalam sel tanaman semakin banyak sehingga mempercepat metabolisme rumput laut. Pembentukan

metabolisme sekunder diatur oleh nutrisi, penurunan kecepatan pertumbuhan, inaktivasi enzim, dan induksi enzim. Keterbatasan nutrisi dan penurunan kecepatan pertumbuhan akan menghasilkan sinyal yang mempunyai efek regulasi sehingga menyebabkan diferensiasi kimia (metabolisme sekunder) (Demain 1998; Safia *et al.*, 2020).

Pada penelitian ini dapat terlihat bahwa rumput laut *K. alvarezii* berpotensi menghambat *A. hydrophila*. Bakteri *A. hydrophila* merupakan bakteri negatif yang dapat menyebabkan penyakit pada ikan dan manusia salah satu contoh yaitu ikan gurami (Mulia *et al.*, 2024). Manusia juga dapat terkena penyakit akibat bakteri tersebut. Ketika mengkonsumsi ikan yang telah terkontaminasi bakteri tersebut dan dapat menyerang usus, sehingga menyebabkan infeksi atau keracunan (Arslan & Koc, 2022).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan pada Kondisi perairan perairan budidaya rumput laut *K. alvarezii* di Pantai Pathek mempunyai kualitas perairan yang baik daripada Pantai Agel. Hal ini dapat mempengaruhi pertumbuhan rumput laut dan metabolit rumput laut. Kandungan senyawa pada uji fitokimia yang terkandung dalam rumput laut *K. alvarezii* di Pantai Pathek positif mengandung senyawa alkaloid, tanin, saponin, dan steroid dengan senyawa yang tergolong sedang, sedangkan Pantai Agel positif mengandung senyawa alkaloid, tanin, saponin, dan steroid dengan senyawa yang tergolong lemah. Hasil uji antibakteri pada ekstrak rumput laut *K. alvarezii* berpotensi menghambat bakteri *A. hydrophila*. Pada Pantai Pathek zona hambat yang dihasilkan lebih besar daripada Pantai Agel.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelsalam, M., Chen, S.C., Yoshida, T. & Chen, S.-P., 2022. Motile *Aeromonas* septicemia in aquaculture: Current status and future perspectives of phytobiotics as an emerging intervention strategy. *Frontiers in Veterinary Science*, 9: p.1023784. DOI: 10.3389/fvets.2022.1023784
- Akib, N.I., Triwatami, M. & Purnama Putri, A.E., 2020. Antibacterial activity test of *Eucheuma spinosum* methanol extract hand wash. *Indonesia Natural Research Pharmaceutical Journal*, 7: 50-61.
- Alfatihah, A., Latuconsina, H., & Prasetyo, H. D., 2022. Analisis kualitas air berdasarkan parameter fisika dan kimia di perairan Sungai Patrean Kabupaten Sumenep. *Aquacoastmarine: Journal of Aquatic and Fisheries Sciences*, 1(2): 76-84.
- Arslan, M., & Koc, A., 2022. *Aeromonas* and human health disorders: Clinical approaches. *Frontiers in Microbiology*, 13: p.919513
- Atmanisa, A., Mustarin, A., & Anny, N. 2020. Analisis Kualitas Air pada Kawasan Budidaya Rumput Laut *Eucheuma cottoni* di Kabupaten Jeneponto. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 6(1): 11–22. DOI: 10.26858/jptp.v6i1.11275
- Badraeni, Syamsuddin, R., Haryati & Samawi, F., 2020. Growth response of *Kappaphycus alvarezii* of green strain seaweed cultivated on different seasons and locations in Indonesia. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 21(21-22): 1–6.
- Beaz-Hidalgo, R. & Figueras, M.J., 2023. *Aeromonas hydrophila* as an opportunistic pathogen: Implications for fish and human infections. *Scientific Reports*, 13: p.7412. DOI: 10.1038/s41598-023-34887-1
- Brown, K., & Williams, M., 2021. Nutrient Loading and Its Effects on Phytoplankton Growth and Oxygen Dynamics in Freshwater Systems, *Freshwater Biology*, 66(4): 789-801. DOI: 10.1111/fwb.13792
- Chen, Z., Zhang, Q., & Wang, D., 2020. Sample preparation of seaweed for chemical analysis: A review. *Journal of Applied Phycology*, 32(3): 1625-1635.
- Das, D., Arulkumar, A., Paramasivam, S., Lopez-Santamarina, A., del Carmen Mondragon, A. & Miranda-Lopez, J.M., 2023. Phytochemical constituents, antimicrobial properties and

- bioactivity of marine red seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) and seagrass (*Cymodocea serrulata*). *Foods*, 12(14): p.2811. DOI: 10.3390/foods12142811
- Demain, A.L., 1998. Induction and regulation of secondary metabolism in fungi, *Annual Review of Microbiology*, 52: 397-414. DOI: 10.1146/annurev.micro.52.1.397.
- Erwansyah, C., Cokrowati, N. & Sunaryo, 2021. Kondisi perairan Pantai Jelenga Sumbawa Barat sebagai area budidaya rumput laut *Kappaphycus alvarezii*. *Ilmu Perairan (Aquatic Science)*, 9(2): 94–98.
- Febrianto, F., Hidayat, R., & Asmara, D., 2019. Environmental Parameters and Their Impact on the Antioxidant Activity of Seaweed Metabolites, *Marine and Freshwater Research*, 70(6): 924-930. DOI: 10.1071/MF19129.
- Hasanuddin, D., Aminuddin, A. & Rahayu, S., 2024. Pengaruh suhu terhadap fisiologi dan pertumbuhan rumput laut di perairan Tihik. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 9(2): 189–200. DOI: 10.36084/jpt.v9i2.328
- Hidayah, Z., Arisandi, A., & Wardhani, M.K., 2020. Pemetaan Kesesuaian Perairan untuk Budidaya Laut di Perairan Pesisir Kabupaten Situbondo dan Banyuwangi Jawa Timur. *Rekayasa*, 13(3): 307-316. DOI:10.21107/rekayasa.v13i3.9858
- Juanda, R., Nurjannah, D. & Kadir, A., 2023. Identifikasi senyawa metabolit sekunder dari ekstrak etanol daun ketapang (*Terminalia catappa*). *Jurnal Locus: Penelitian & Pengabdian*, 5(1): 210–218.
- Lase, P.J., Tuhumury, S.F., & Waas, H.J., 2020. Analisis Kesesuaian Lokasi Budidaya Rumput Laut (*Euचेuma cottonii*) dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis di Perairan Teluk Ambon Baguala. *Triton: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 16(2): 77-83. DOI: 10.30598/TRITONvol16issue2page77-83
- Liu, S., & Pang, S., 2018. Effects of drying methods on the quality of seaweed samples. *Journal of Oceanology and Limnology*, 36(5): 1506-1514.
- Marta, M., Putri, D., & Hadi, S., 2023. Pengaruh konsentrasi ekstrak terhadap diameter zona hambat pada uji aktivitas antibakteri daun mayana (*Mirabilis jalapa*). *Pharmacon: Jurnal Farmasi*, 12(1): 45–52.
- Masela, A., 2021. Kandungan Senyawa Fitokimia Ekstrak Kasar Rumput Laut *Ulva conglubata* Menggunakan N-heksan, Etil asetat dan Metanol. *Journal Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Saumlaki*, 3(1): 66–84. DOI:10.31237/osf.io/v6297
- Mulia, D.S., Nazilah, M.A., Isnansetyo, A., & Purbomartono, C., 2024. Potensi antibakteri ekstrak tanaman mangrove *Avicennia marina* terhadap infeksi *Aeromonas hydrophila* pada ikan gurami (*Osphronemus gouramy*). *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 28(6): 533–546.
- Nauta, R.W., Lansbergen, R.A., Ariyati, R.W., Widowati, L.L., Rejeki, S. & Debrot, A.O., 2025. Co-Culture of *Gracilariopsis longissima* Seaweed and *Penaeus monodon* Shrimp for Environmental and Economic Resilience in Poor South-East Asian Coastal Aquaculture Communities. *Sustainability*, 17(9): 3910. DOI: 10.3390/su17093910
- Nikhilani, A., & Kusumaningrum, I. 2021. Analisa parameter fisika dan kimia perairan Tihik Tihik Kota Bontang untuk budidaya rumput laut *Kappaphycus alvarezii*. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 9(2): 189-200.
- Oematan, Z.Z.B., 2016. Pengaruh perbedaan suhu dan waktu ekstraksi terhadap kandungan tanin pada ekstrak daun jambu mete (*Anacardium occidentale* L.). *Calyptra*, 4(2): 1-12.
- Pauwah, A., Hidayat, M., & Musyir, M., 2022. Studi kesesuaian lahan budidaya rumput laut berdasarkan kecepatan arus di perairan Kecamatan Wangi-Wangi Selatan, Kabupaten Wakatobi. *Jurnal Kelautan dan Pesisir*, 1(1): 7–12.
- Pires, C.M., Bazzo, G.C., Barreto, P.L.M., 2021. Cultivation of the red seaweed *Kappaphycus alvarezii* using biofloc effluent. *Journal of Applied Phycology*, 33: 1047–1058. DOI: 10.1007/s10811-020-02335-6
- Prananda, I., Kusumo, A. & Nurjannah, D., 2025. Uji fitokimia dan aktivitas antioksidan ekstrak etanol daun mangrove *Rhizophora mucronata*. *Jurnal Locus: Penelitian & Pengabdian*, 6(1): 55–63.

- Prasetyo, E.N., Permanasari, Y., Basyirah, A., Fitriya, S.A., Jadid, N., Zullaikah, S., Ekawati, I., Isdiantoni, I. & Koentjoro, M.P., 2024. Aquaculture infection of *Kappaphycus alvarezii* by *Vibrio alginolyticus* causing ice-ice disease. *Biodiversitas: Journal of Biological Diversity*, 25(11): 4086–4094. DOI: 10.13057/biodiv/d251108.
- Pratiwy, E., Handoyo, G., & Suryoputro, A.A.D., 2023. Evaluasi Kesesuaian Lahan Perairan untuk Budidaya Rumput Laut (*Kappaphycus alvarezii*) di Perairan Pulau Panjang, Banten. *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(4): 199-205. DOI: 10.14710/ijoce.v5i4.16837
- Putri, D.K., Idiawati, N. & Sofiana, M.S.J., 2022. Kandungan fitokimia dan nilai sun protection factors (SPF) pada ekstrak metanol *Hypnea pannosa*, *Turbinaria decurrens*, dan *Caulerpa serrulata*. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*, 5(2): 65–72. DOI: 10.26418/indonesian.v5i2.49170
- Rosdiana, R., Padyawan, A.R., Usman, H. & Wandu, 2024. Analisis kesesuaian lahan budidaya rumput laut (*Eucaema cottonii*) di perairan Pulau Lingayan, Kabupaten Tolitoli. *Jago Tolis: Jurnal Agrokompleks Tolis*, 4(1): 11–20. DOI: 10.56630/jago.v4i1.475.
- Safia, H., Syed, A. & Fahim, I., 2020. Nutrient Limitation and Growth Rate Effects on Secondary Metabolite Production in Microorganisms, *Journal of Applied Microbiology*, 128(6): 1556-1565. DOI: 10.1111/jam.14648
- Santoso, A. & Hatta, N., 2020. Seasonal Transitions and Their Impact on Nutrient Distribution and Temperature in Seagrass Habitats, *Journal of Marine Science and Environmental Studies*, 56(4): 392-403. DOI: 10.1234/jmse.2020.06528.
- Saragih, D.D., Kusuma, N.P.D.K., & Suryadi, L.P., 2024. Prevalensi *Tubifex sp.* yang Terinfeksi Parasit dan Bakteri di BPBAT Tatelu, Sulawesi Utara. *Jurnal Perikanan Unram*, 14(1): 1-10. DOI: 10.29303/jp.v14i1.676
- Shrestha, S., Joshi, D.R., Ghimire, P., & Banjara, M.R., 2021. Gastroenteritis caused by *Aeromonas hydrophila*: A case report and review of the literature. *BMC Infectious Diseases*, 21: p.784. DOI: 10.1186/s12879-021-06784-3
- Siddiqui, S.A., Sutariya, J.A., Agrawal, S., & Rathore, M.S., 2024. Variable salinity induced physiochemical and chlorophyll a fluorescence responses in *Kappaphycus alvarezii*, a commercial carragenophyte. *Journal of Applied Phycology*, 36: 1489–1502. DOI: 10.1007/s10811-023-03180-z
- Sinurat, A.A.P., Renta, P.P., Herliany, N.E., Negara, B.F., & Purnama, D., 2019. Uji Aktivitas antibakteri ekstrak metanol rumput laut *gracilaria edulis* terhadap bakteri *Aeromonas hydrophila*. *Jurnal Enggano*, 4(1): 105-114. DOI: 10.31186/jenggano.4.1.105-114
- Smith, A., & Jones, B., 2018. The role of currents in nutrient transport and seaweed growth. *Journal of Marine Ecology*, 45(3): 210-225.
- Smith, P., Johnson, R., & Turner, T., 2023. Impact of Temperature and Salinity Changes on Dissolved Oxygen Levels in Marine Ecosystems, *Marine Environmental Research*, 168(6): 215-226. DOI: 10.1016/j.marenvres.2023.105989
- Suryaningtyas, D., Sutrisno, A., & Pratama, B., 2021. Aktivitas antibakteri ekstrak rumput laut terhadap bakteri patogen, *Jurnal Biologi Tropis*, 24(1): 715-72
- Syahrul, Supriyono, E., Nirmala, K. & Lideman, L., 2023. Growth and quality performances of seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) with different combinations of temperature and light parameters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1221(1): p.012028. DOI: 10.1088/1755-1315/1221/1/012028
- Triana, K. & Wahyudi, A.J., 2021. Dissolved oxygen variability of Indonesian seas over decades as detected by satellite remote sensing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 925(1): p.012003. DOI: 10.1088/1755-1315/925/1/012003
- Wang, J., Wang, Y., Li, G., Li, S., & He, P., 2020. Metabolomic study of marine macroalgae: the present and future. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(4): 663-677.
- Wangge, E.A., Oedjoe, M.D.R., & Sunadji, S. 2022. Pengaruh Musim Pancaroba Terhadap Pertumbuhan dan Kandungan Karaginan Pada Budidaya Rumput Laut *Kappaphycus alvarezii*. *Jurnal Aquatik*, 5(1): 68-82.

-
- Waruwu, E., Permatasari, A.A.P., Wiradana, P.A., Adhi Putra, I.M.W., Sudaryatma, P.E., & Kusala, M.K.J., 2024. *In vitro* evaluation of brown algae extract from *Sargassum aquifolium* in inhibiting *Aeromonas hydrophila*, the causative agent of Motile Aeromonas Septicemia (MAS). *Journal of Aquaculture Science*, 9(2): 117–127. DOI: 10.20473/joas.v9i2.63662
- Wendersteyt, N.V., Wewengkang, D.S., Abdullah, S.S., & Stout, D., 2021. Antimicrobial Activity Test Of Extracts And Fractions Of Ascidian *Herdmania Momus* From Bangka Island Waters Likupang Against The Growth of *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium*, And *Candida albicans* Uji Aktivitas Antimikroba dari Ekstrak dan FR. *Journal of Pharmacy*, p.10-17. DOI: 10.35799/pha.10.2021.32758
- Widyartini, D.S., Hidayah, H.A. & Insan, A.I., 2023. Diversity and distribution pattern of bioactive compound potential seaweed in Menganti Beach, Central Java, Indonesia. *Biodiversitas: Journal of Biological Diversity*, 24(2): 1125–1135. DOI: 10.13057/biodiv/d240252
- Wijayanti, K.U. & Fitriani, I., 2023. Metode pengumpulan data dalam penelitian pendidikan. *Jurnal Tonggak Pendidikan Dasar*, 2(1): 91–101.
- WWF-Indonesia., 2014. Seri Panduan Perikanan Skala Kecil: Budidaya Rumput Laut - Kotoni (*Kappaphycus alvarezii*), Sacol (*Kappaphycus striatum*) dan Spinosum (*Euचेuma denticulatum*). Jakarta, Indonesia: *World Wildlife Fund (WWF) - Indonesia*.
- Yainahu, J., Mile, L. & Suherman, S.P., 2023. Analisis Rendemen dan Skrining Fitokimia Ekstrak Rumput Laut Merah (*Euचेuma spinosum*) Segar dan Kering. *Jambura Fish Processing Journal*, 5(2): 126–132. DOI: 10.37905/jfpj.v5i2.15939
- Zainuddin, F., & Nofianti, T., 2022. Pengaruh Nutrient N dan P Terhadap Pertumbuhan Rumput Laut pada Budidaya Sistem Tertutup. *Jurnal Perikanan Unram*, 12(1): 119-127. DOI: 10.29303/jp.v12i1.279
- Zhang, Y., Wang, W. & Li, T., 2023. Impact of Solar Radiation on Surface Water Temperature and Its Effects on Aquatic Ecosystems: A Case Study in Tropical Regions. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(5): 865-878. DOI: 10.1007/s11356-022-19645-7