

EFEKTIVITAS METODE PIRAMIDA TERBALIK DAN METODE RAWAI DATAR UNTUK BUDIDAYA *Kappaphycus alvarezii* (RHODOPHYTA) DI PERAIRAN MALUKU

(The Effectiveness of Inverted Pyramid Method and Longline Method for Culturing Kappaphycus alvarezii (Rhodophyta) in Maluku Waters)

Agustina W. Soumokil, Endang Jamal, dan Petrus A. Wenno

*Jurusan Budidaya Perairan
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Pattimura
Jln. Mr. Chr Soplanit-Kampus Poka Ambon
mieke.soumokil@gmail.com; endang-jamal@gmail.com; petrawenno@gmail.com*

ABSTRAK : Budidaya rumput laut merah *Kappaphycus alvarezii* dengan metode piramida terbalik (PT) telah dilakukan di perairan Desa Booi, teluk Saparua di kabupaten Maluku Tengah. Efektivitas metode PT dapat dibandingkan dengan metode konvensional rawai datar (RD) berdasarkan laju pertumbuhan, produksi biomassa dan rendemen karaginan. Metode PT dioperasikan pada lapisan permukaan dari perairan dalam sampai kedalaman 10 meter, sedangkan metode RD hanya dioperasikan di perairan dangkal pada kedalaman kurang dari 10 meter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan dan produksi biomassa dengan metode PT cenderung berkurang sesuai dengan peningkatan kedalaman, sebaliknya rendemen karaginnannya meningkat. Sementara rendemen karaginan dengan metode RD meningkat sejalan dengan pertumbuhan dan produksi biomassa. Terlihat bahwa budidaya rumput laut dengan metode PT lebih efektif dibandingkan metode RD dalam hal luas lahan yang digunakan, selain produksi biomassa dan rendemen karaginan yang diperoleh.

Kata Kunci : *Kappaphycus alvarezii*, metode piramida terbalik, metode rawai datar, rendemen karaginan

ABSTRACT : Cultivation of red seaweed *Kappaphycus alvarezii* using the inverted pyramid method (IP) was carried out in the waters of Booi village, Saparua bay at the Central of Maluku regency. The effectiveness of the IP method can be compared with the conventional, longline (LL) method based on growth rate, biomass production and carrageenan yield. The IP method is operated on the surface layer of the deep waters to a depth of 10 meters, while the LL method is only operated in shallow waters at a depth of less than 10 meters. The results showed that growth and production of biomass with the IP method tended to decrease according to increasing depth, while the carrageenan yield increased. However, the carrageenan yield with the LL method increased in line with growth and production of biomass. It is seen that seaweed cultivation with the IP method is more effective than the LL method in terms of land area used, in addition to biomass production and the yield of carrageenan gained.

Keywords : *Kappaphycus alvarezii*, inverted pyramid method, longline method, yield of carrageenan.

PENDAHULUAN

Kappaphycus alvarezii adalah rumput laut merah (Rhodophyta) yang banyak dibudidayakan di perairan Indonesia sejak tiga dekade lalu (Adnan dan Porse, 1987). Teknik budidaya yang sederhana, biaya konstruksi yang rendah, waktu pertumbuhan yang cukup singkat, dan harga yang relatif tinggi menyebabkan komoditas ini menjadi primadona perikanan budidaya setelah komoditas udang (Nurdjana, 2010). Secara taksonomi *K. alvarezii* sama dengan (Atmadja dkk., 1996; Hatta dan Yulianto, 1994), atau berbeda dari *Eucheuma cottonii* berdasarkan asal usul atau tampilan morfologinya (Hayashi dkk., 2010; Hurtado, 2007). Nama *Kappaphycus* mengikuti tipe karaginan Kappa yang dihasilkan, sementara nama species *alvarezii* merupakan penghormatan kepada almarhum Vicente Alvarez, perintis budidaya rumput laut asal Filipina (Neish, 2005). Hal ini terkait dengan asal-usul rumput laut yang diperoleh dari berbagai lokasi, seperti laut Sulawesi dan Biak, kepulauan Sulu Selatan, dan selanjutnya tersebar ke sejumlah negara (Neish, 2005), termasuk Indonesia.

Budidaya rumput laut mengandalkan penerapan metode yang tepat dan benar. Metode yang tepat terkait dengan waktu tanam dan waktu panen, sedangkan metode yang benar berhubungan dengan teknik budidaya dan kualitas bibit yang digunakan. Metode budidaya yang paling sering digunakan adalah metode apung (*floating method*). Metode apung, dengan atau tanpa rakit dipilih karena konstruksinya mudah dan membutuhkan sedikit biaya. Rakit dapat dibuat dari bambu/pelepah sagu dengan tali nilon sebagai tempat mengikat bibit (*longline*) (Valderrama dkk., 2015), atau tempat menggantung tali (*hanging longline*) (Hurtado-Ponce dkk., 1996). Ukuran rakit yang dioperasikan pada permukaan air tergantung kebutuhan dan bahan baku lokal yang tersedia.

Budidaya rumput laut dapat mengikuti salah satu dari ketiga metode dasar (Dawes, 1981), atau kombinasi dari beberapa metode. Selain metode apung, ada juga metode dasar dan metode lepas dasar. Ketiga metode dasar

dapat dioperasikan di perairan dangkal pada kedalaman kurang dari 10 meter. Pada kedalaman lebih tinggi dari 10 meter dapat dilakukan dengan metode apung dan metode lepas dasar atau kombinasi dari keduanya. Budidaya rumput laut di perairan dangkal lebih mudah daripada di perairan dalam karena tidak membutuhkan perlakuan khusus. Budidaya rumput laut di perairan dalam telah dilakukan dengan metode tali gantung (Hurtado-Ponce dkk., 1996). Karena keberhasilan metode tersebut maka dibuat modifikasinya, yaitu metode 'piramida terbalik' (*inverted pyramid*) sebagai kombinasi dari metode apung dan metode lepas dasar dan dioperasikan di perairan dalam. Metode piramida terbalik (PT) hanya dioperasikan pada bagian permukaan dari perairan dalam, yaitu pada kedalaman lebih dari 10 meter. Budidaya rumput laut di perairan dalam dengan metode PT lebih menguntungkan karena relatif mengalami sedikit tekanan lingkungan dan pengaruh antopogeni.

Tujuan penulisan ini adalah untuk membandingkan efektivitas budidaya rumput laut dengan metode PT (Wenno dkk., 2018) dan metode konvensional RD (Dahuri, 2012), serta faktor-faktor abiotis yang mendorong pertumbuhan rumput laut. Kedua metode dapat diterapkan sesuai kondisi perairan setempat, yaitu metode PT di perairan dalam dan metode RD di perairan dangkal.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Kegiatan

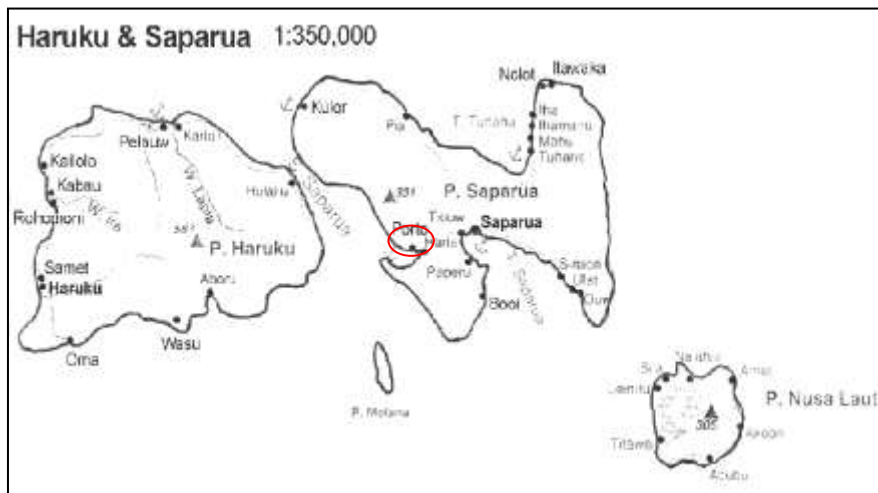
Budidaya rumput laut *Kappaphycus alvarezii* dengan metode PT telah dilakukan di perairan Desa Booi (Wenno dkk., 2018), Teluk Saparua, Kabupaten Maluku Tengah (Gambar 1). Metode PT merupakan modifikasi dari metode rakit gantung (RG) (Wenno, dkk., 2015). Operasional dari metode ini berbeda dari metode sebelumnya. Setiap tali gantung pada metode TG terletak terpisah dan diberi pemberat beton, sedangkan pada metode PT keempat ujung tali dipersatukan dan diberi pemberat beton yang lebih besar. Fungsi pemberat adalah untuk menjaga agar posisi tali gantung tetap

tegang dan tidak mengganggu posisi tali gantung lainnya. Posisi tali gantung pada metode TG dan metode PT adalah tegak lurus permukaan air sampai kedalaman 10 meter, sebaliknya pada metode RD posisi tali sejajar dengan permukaan air.

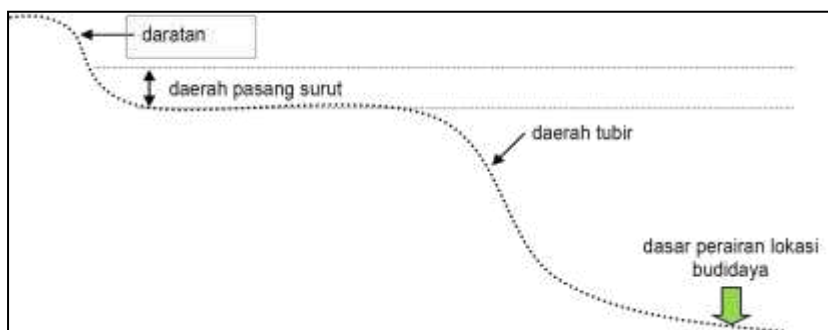
Profil perairan di Desa Booi terdiri atas perairan dangkal dan perairan dalam (Gambar 2). Sebagian perairan dangkal, mulai dari tepi pantai dibatasi oleh dinding pembatas beton (*concrete wall*) sepanjang sekitar 150 meter, didominasi oleh karang papan (*rock platform*) mati dengan sejumlah bebatuan kecil sampai besar yang terserak bebas di pantai. Pada lokasi ini tidak ditemui daerah pasang-surut bawah (*sub-littoral*) yang tetap terendam air saat air surut. Karakteristik khusus dari perairan dangkal di Desa Booi ini merupakan kendala utama, sehingga budidaya rumput laut sulit dilakukan dengan metode konvensional rawai datar.

Sebaliknya, perairan dalam setelah daerah tubir didominasi oleh terumbu karang hidup, dan juga sejumlah bebatuan kecil sampai besar.

Lokasi penelitian berada pada jarak sekitar 200 meter dari tepi pantai dan pada kedalaman sekitar 25 meter. Budidaya rumput laut dilakukan dengan metode PT, karena selain merupakan perairan dalam juga terletak cukup jauh dari tepi pantai, sehingga mengalami sedikit tekanan lingkungan dan pengaruh antropogeni. Kondisi perairan pada saat pergantian musim (*pancaroba*) berpengaruh negatif terhadap peralatan budidaya maupun objek penelitian rumput laut, karena perpindahan massa air yang membawa sejumlah bebatuan ke tepi pantai. Antisipasi terhadap perubahan musim dapat dilakukan dengan memperkuat fungsi utama jangkar dan pelampung untuk mempertahankan rumput laut tetap pada tempatnya.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Desa Booi, Teluk Saparua, Kabupaten Maluku Tengah (<http://www.google.co.id/>), tanpa koordinat



Gambar 2. Profil perairan Desa Booi pada lokasi penelitian (Sumber: Wenno *dkk.*, 2018)

Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini dilakukan melalui pengukuran berulang selama 4 (empat) periode tanam. Pengukuran parameter air dan faktor-faktor abiotik dilakukan selama kegiatan penelitian dengan selang waktu 2 (dua) minggu dan periode budidaya 45 hari. Jarak antara 2 (dua) periode budidaya diatur sedemikian rupa agar dimulai 28 hari setelah waktu tanam untuk mengetahui pengaruh umur bulan terhadap pertumbuhan. Sampling air dilakukan secara acak di sekitar lokasi budidaya, rata-rata 3 (tiga) kali pada 3 (tiga) kedalaman, yaitu pada permukaan air (0,25 m), pada bagian pertengahan (3,5 m), dan bagian bawah (7 m). Setiap faktor abiotik dipandang sebagai perlakuan/ variabel bebas yang berpengaruh terhadap variabel tetap. Variabel tetap yang ingin diketahui adalah laju pertumbuhan harian (LPH) rumput laut segar (FW, *fresh weight*), produksi biomassa (Y) rumput laut kering (DW, *dry weight*) sebagai selisih antara hasil panen dan berat awal bibit, dan rendemen karaginan (Yc).

Sampling dan Pengukuran Faktor-Faktor Abiotik

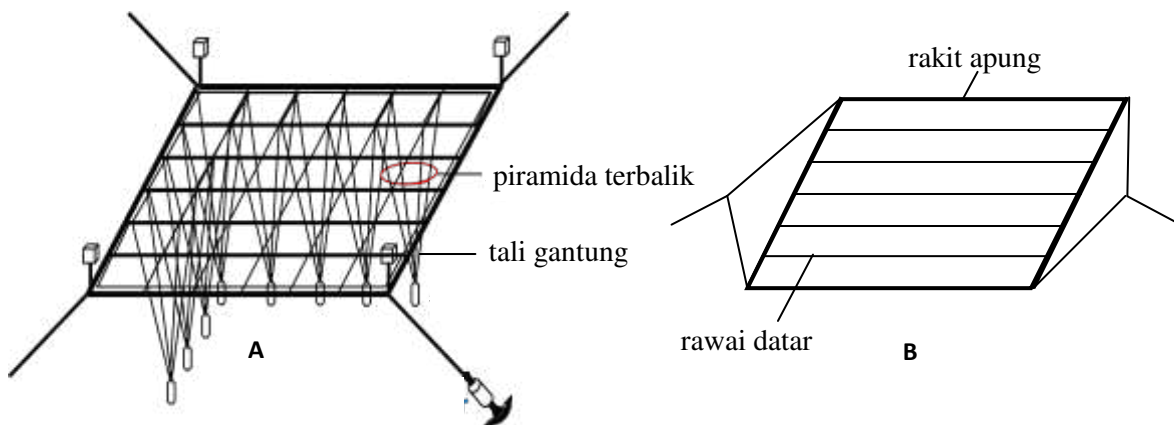
Pengambilan sampel air dan pengukuran faktor-faktor abiotis dilakukan setiap dua minggu sejak awal kegiatan selama empat periode tanam berturut-turut dengan metode PT. Pengukuran suhu (°C), salinitas (ppt), pH dan oksigen terlarut (DO, mg L⁻¹) dilakukan secara

in situ dengan alat YSI Professional Plus. Pergerakan air (cm s⁻¹) diukur dengan peralatan CTD-300. Analisis konsentrasi nitrat, amonium dan ortofosfat dilakukan dengan instrumen Nannodrop 2000c Spectrophotometer Thermo Scientific menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) di BPBK (Balai Perikanan Budidaya dan Kelautan, Waiheru, Ambon). Intensitas cahaya (Lux) diukur dengan Luxmeter Tipe DX 100-Takemura Elect. Ltd. Co pada permukaan air (I_0), dengan kedalaman 1 m (I_1). Koefisien penghilangnya cahaya (k) dan intensitas cahaya diukur pada kedalaman berbeda (I_d) secara *in situ*, dan dihitung dengan formula Beer-Lambert Law (Skoog, 2003):

$$k = \frac{\ln(I_1) - \ln(I_0)}{l} \text{ dan } I_d = I_0 \cdot e^{-kd}$$

Metode Piramida Terbalik Versus Metode Rawai Datar

Metode PT (Wenno *dkk*, 2018) adalah yang pertama digunakan untuk budidaya rumput laut di perairan dalam (Gambar 2A), sehingga metode ini masih membutuhkan penelitian lanjutan sebelum diterapkan secara luas. Metode RD (Gambar 2B) telah lama digunakan, disebut '*tie-tie technique*' (Goes dan Reis, 2011) berdasarkan cara mengikat bibit rumput laut. Kedua metode budidaya dioperasikan secara berturut-turut di perairan dalam (kedalaman lebih dari 25 meter) dan di perairan dangkal (kedalaman sekitar 10 meter).



Gambar 3. Skema peralatan budidaya metode piramida terbalik (A) dan metode rawai datar pada rakit apung (B); tali gantung dan rawai datar digunakan untuk mengikat bibit rumput laut.

Metode PT tidak menggunakan rakit, sebaliknya digantikan dengan tali nilon diameter 24 mm (D-24) yang difungsikan sebagai frame utama. Frame utama dirancang seperti rakit dengan ukuran 12 x 12 m² yang dapat menampung 36 frame kecil, masing-masing dengan ukuran 2 x 2 m². Diameter tali frame kecil (D-10) disusun sedemikian rupa agar saling berpotongan. Setiap perpotongan tali pada frame kecil dapat menampung 4 tali nilon (D-4), sehingga untuk 36 frame kecil mampu menampung 144 tali gantung. Jika panjang efektif setiap tali gantung 9 meter, maka panjang total tali pada metode RD adalah 1.296 meter. Budidaya rumput laut dengan metode PT dapat menghemat lahan sebesar 80% berdasarkan panjang tali 50 meter dan jarak antar tali 50 cm. Efisiensi pemanfaatan lahan dengan metode PT ukuran 12 x 12 m² adalah setara dengan luas lahan 144 (0,5 x 9) m², atau 648 m². Dengan demikian penerapan metode PT memungkinkan budidaya berlangsung di wilayah perairan dalam yang selama ini nyaris tidak dimanfaatkan.

Metode PT lebih efektif dibandingkan metode RD berdasarkan luas lahan yang digunakan. Perbandingan pemanfaatan lahan budidaya dengan metode PT terhadap metode RD pada contoh ini adalah 1 : 5, atau seperlima dari metode RD tanpa memanfaatkan perairan dangkal, sehingga tidak terjadi persaingan antara sesama pembudidaya. Konstruksi dari peralatan budidaya dengan metode PT menggunakan tali ukuran D-24 sebagai frame utama dan tali D-10 sebagai tali ris. Tali gantung D-4 digunakan sebagai media tanam dengan panjang efektif 9 meter diikat pada setiap perpotongan tali ris, kemudian digantung dengan bantuan pemberat setelah empat ujung tali bawah dipersatukan. Untuk mempertahankan posisi peralatan agar tetap pada posisinya, maka digunakan pelampung dan jangkar. Karena peralatan PT berada di bawah air, maka kemungkinan kerusakan rumput laut akibat terpaan angin dan ombak dapat dikurangi, bahkan memungkinkan kegiatan budidaya berlangsung sepanjang tahun. Pada kondisi dimana terdapat predator dan/atau herbivor, maka kendala tersebut dapat diatasi dengan bantuan kantong jaring.

Metode konvensional RD telah digunakan dalam 30 tahun terakhir (Adnan dan Porse, 1987). Sejak itu produksi rumput laut Indonesia tidak mengandalkan koleksi alam yang memiliki banyak kelemahan seperti jumlah dan mutu hasil panen yang tidak menentu. Konstruksi yang mudah dan pembiayaan yang murah, menyebabkan budidaya rumput laut dengan metode RD menjadi tidak menentu karena menggunakan bahan-bahan yang tidak seragam dan cepat rusak. Permasalahan lainnya adalah waktu panen yang tidak tepat, dan lebih cepat dari yang semestinya hanya karena ingin mengejar pasar yang berakibat pada mutu produk kering (DW) yang rendah. Pada kondisi ini, rasio berat basah-kering yang lebih besar dari rasio standar, sekitar 6:1 sampai 9:1 (Neish, 2005), membutuhkan lebih banyak rumput laut segar (FW) untuk menghasilkan 1 kg rumput laut kering (Wenno, 2011).

Efektivitas Metode Budidaya

Efektivitas budidaya rumput laut tergantung pada metode/teknik yang dipilih. Aslan *dkk.* (2016) mengusulkan empat tindakan yang perlu diperhatikan agar produksi biomassa rumput laut meningkat, yaitu teknik mengikat bibit, jarak tanam bibit, berat bibit, dan lama pemeliharaan. Cara mengikat bibit dengan '*tie-tie technique*' (Goes dan Reis, 2011) adalah yang paling umum dilakukan pembudidaya. Teknik pengikatan bibit yang baik adalah tidak ketat atau longgar, dan ditempatkan di bawah permukaan air untuk menghindari pengaruh suhu tinggi, salinitas rendah, dan timbunan sampah yang dapat menimbulkan penyakit '*ice-ice*'. Kekuatan ikatan bibit rumput laut yang tepat menyebabkan penyerapan unsur hara lebih mudah (Neish, 2005). Jarak tanam 10 cm dianjurkan untuk bibit dengan berat 10g, agar tidak boros, mudah dibersihkan, selain lebih hemat dibandingkan bibit dengan berat 50-100g. Lama pemeliharaan 45-49 hari dianjurkan agar selama periode tersebut penimbunan karaginan optimal (κ), dan dapat memberikan manfaat yang lebih besar terhadap industri olahan rumput laut.

Produk utama dari rumput laut merah adalah karaginan. Karaginan adalah polisakarida linier sulfat yang diperoleh dalam bentuk

ekstrak rumput laut merah (*Distantina dkk.*, 2011). Karaginan (Y_c) dinyatakan sebagai persentasi berat kering sampel (*Reis dkk.*, 2008) menurut formula $Y_c = (W_c/W_s) \times 100$, dimana W_c adalah berat kering karaginan yang dihasilkan, dan W_s sebagai berat kering rumput laut yang dianalisis. Karaginan dalam bentuk ATC (*alkali treated carrageenan*) diperoleh melalui perubahan alkali dan larutan KOH dalam air panas. Kualitas karaginan hasil ekstraksi dapat dinyatakan dalam bentuk kekentalan (*viscosity*) dan kekuatan gel (*gel strength*). Kekentalan diukur dengan bantuan instrumen model ‘*Visco Basic Plus*’, sementara kekuatan gel dengan model ‘*Digital Texture Analyzer*’. Pada penelitian ini kedua parameter tidak dianalisis selain rendemen karaginan (Y_c , *yield of carrageenan*), karena terkait dengan kualitas produksi biomassa yang menjadi perhatian dalam penelitian ini.

Analisis Data

Data yang dinyatakan dalam Nilai rata-rata \pm SE, dan persentase kenaikan/ penurunan relatif dari faktor lingkungan antar kedalaman dihitung dengan formula:

$$\text{Kenaikan/penurunan relatif (\%)} = [(D_x - D_o) / D_o] \times 100 \tag{2}$$

Ket : D_x = kedalaman x meter, D_o = nilai permukaan, dan uji homogenitas varians (Uji Levene) digunakan untuk memverifikasi pengujian parametrik (*Zar*, 1996), dimana Y_c dalam %. Variasi kesalahan dan perbandingan

antar kedalaman dianalisis dengan One way Anova, dan LSD-post hoc kedalaman dengan bantuan program SPSS 20 pada $P < 0,05$.

Analisis data rancangan acak lengkap (RCD) dan analisis varians (ANOVA) dilakukan untuk mengetahui tingkat pertumbuhan harian dan rendemen karaginan, sedangkan uji Friedman dilakukan untuk mengetahui produksi biomassa, dilanjutkan dengan perhitungan lewat perangkat lunak SPSS dan Excel. Uji Duncan dilakukan bila ada perbedaan antar perlakuan yang signifikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor-faktor abiotik sangat mempengaruhi produksi biomassa dari rumput laut. Sementara interaksi kompleks antara faktor-faktor tersebut, seperti: intensitas cahaya, salinitas, suhu, pH, oksigen terlarut, pergerakan air, nitrat, amonium dan fosfat penting untuk mendorong pertumbuhan rumput laut (*Doty*, 1985). Interaksi antara faktor-faktor yang mengatur pertumbuhan, karena pengurangan satu faktor dapat dikompensasi oleh kenaikan faktor yang lain (*Munoz dkk.*, 2004). Faktor lingkungan pada kedalaman perairan yang berbeda cenderung berbeda, sekalipun secara statistik tidak signifikan berbeda pada kedalaman 0.25 m, 3.5 m, dan 7.0 m, kecuali untuk intensitas cahaya dan pergerakan air ($P < 0,05$) (Tabel 1).

Tabel 1. Faktor-faktor abiotik (Nilai rata-rata \pm SE) pada kedalaman berbeda, secara vertikal

No.	Faktor abiotik	Nilai rata-rata \pm SE			P
		Permukaan (0,25 m)	Pertengahan (3,50 m)	Bawah (7.0 m)	
1	Intensitas cahaya (Lux)	4913.08 \pm 178.78 ^a	210.50 \pm 7.68 ^b	8.92 \pm 0.33 ^b	0.000
2	Suhu (°C)	31.22 \pm 0.07 ^a	30.02 \pm 0.07 ^a	30.01 \pm 0.08 ^a	0.528
3	Salinitas (‰)	32.15 \pm 0.05 ^a	32.29 \pm 0.04 ^a	32.53 \pm 0.05 ^a	0.447
4	pH	8.63 \pm 0.013 ^a	8.63 \pm 0.013 ^a	8.60 \pm 0.011 ^a	0.746
5	Oksigen terlarut (mg L ⁻¹)	3.62 \pm 0.008 ^a	3.51 \pm 0.03 ^a	3.46 \pm 0.033 ^a	0.546
6	Pergerakan air (cm s ⁻¹)	39.62 \pm 0.19 ^a	28.57 \pm 0.15 ^b	33.13 \pm 0.16 ^a	0.033
7	Nitrat (mg L ⁻¹)	0.058 \pm 0.05 ^a	0.19 \pm 0.03 ^a	0.45 \pm 0.04 ^a	0.141
8	Amonium (mg L ⁻¹)	0.01 \pm 0.0007 ^a	0.007 \pm 0.0004 ^a	0.015 \pm 0.0013 ^a	0.228
9	Orthofosfat (mg L ⁻¹)	0.22 \pm 0.04 ^a	0.21 \pm 0.04 ^a	0.24 \pm 0.05 ^a	0.489

Catatan: Nilai rata-rata dilakukan untuk 12 ulangan. Nilai rata-rata pada baris yang sama dengan ‘*superscript*’ yang sama tidak signifikan berbeda ($P > 0,05$).

Fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan air dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara (Gao dan Nakahara, 1990). Unsur hara, seperti nitrat (NO_3) dan amonium (NH_4^+) merupakan sumber utama nitrogen untuk pertumbuhan rumput laut, khususnya amonium yang banyak diserap untuk meningkatkan laju pertumbuhan harian (Dy dan Yap, 2001). Amonium merupakan sumber nitrogen yang paling banyak diserap, dan terdeteksi di perairan pada kondisi ketersediaan nitrat rendah. Pada kondisi ketersediaan amonium yang rendah, rumput laut akan bermigrasi ke daerah terumbu karang, karena eutrofikasi antropogeni yang selalu meningkatkan senyawa nitrogen dan fosfat (Tett *dkk.*, 2007). Berdasarkan temuan tersebut, budidaya rumput laut dapat dilakukan pada kondisi nitrogen rendah, selama pergerakan air dapat mendorong penyerapan unsur hara (Neish, 2009). Tabel 1 memperlihatkan ketersediaan nitrat dan amonium dalam jumlah yang cukup pada kedalaman dekat dasar perairan (7 meter). Hal ini terjadi karena pergerakan air pada kedalaman tersebut relatif lebih tinggi dibandingkan dengan bagian pertengahan. Hal ini juga menunjukkan bahwa budidaya rumput laut dapat dilakukan di wilayah perairan dalam dengan metode PT.

Suhu dan salinitas adalah faktor lingkungan yang sangat mempengaruhi kesehatan rumput laut. Budidaya rumput laut dengan metode RD sering mengalami perubahan suhu dan salinitas, sehingga menyebabkan munculnya penyakit 'ice-ice' (Tisera dan Naguit, 2009) yang ditandai oleh gejala perubahan warna talus menjadi putih dan diikuti oleh kerusakan jaringan tanaman secara permanen. Tabel 1 memperlihatkan perubahan suhu dan salinitas yang tidak terlalu ekstrem pada ketiga kedalaman, kecuali pada permukaan air. Perubahan suhu dan salinitas pada lapisan permukaan sering dialami rumput laut yang dibudidayakan dengan metode RD. Tanaman yang berada pada lapisan permukaan sangat rentan terhadap perubahan ekstrim akibat hujan yang menurunkan suhu dan salinitas, sebaliknya pada kondisi cuaca panas menyebabkan peningkatan suhu dan salinitas. Sebaliknya, kondisi perubahan ini nyaris tidak dialami oleh rumput laut yang dibudidayakan dengan metode PT.

Derajat keasaman (pH) juga tidak banyak mengalami perubahan, berada pada kisaran yang memungkinkan pertumbuhan rumput laut secara optimum, dan dinyatakan menurut kadar ion oksigen dalam air (Scott, 1994). Semakin rendah pH berarti semakin asam larutan, dan semakin tinggi oksigen yang menghambat pertumbuhan tanaman. Kadar oksigen terlarut rendah terjadi pada pH rendah, sebaliknya kadar CO_2 tinggi menyebabkan perairan kurang produktif, karena perubahan pH tergantung pada kelarutan CO_2 sebagai substansi asam dalam air. Sebaliknya, perubahan oksigen tidak mempengaruhi pertumbuhan rumput laut, karena selalu tersedia di dalam air sebagai hasil fotosintesis. Perubahan oksigen pada penelitian ini tetap diperhatikan karena terkait dengan peran organisme fauna seperti ikan yang selalu hadir di sekitar lokasi penelitian.

Resultante dari pengaruh faktor-faktor abiotik terhadap pertumbuhan rumput laut terlihat pada variabel tetap laju pertumbuhan harian (LPH), produksi biomassa (Y), dan rendemen karaginan (Yc) (Tabel 2). Laju pertumbuhan harian dan Y cenderung berkurang menurut peningkatan kedalaman, sedangkan Yc meningkat. Perubahan variabel LPH dan Y terlihat pada hasil panen dalam bentuk berat basah dari strain hijau dan coklat, sebaliknya meningkatkan Yc. Perubahan ketiga variabel tetap tidak merugikan pembudidaya berdasarkan produk rumput laut kering yang diperoleh, sebaliknya meningkatkan kadar Yc yang bermanfaat bagi industri olahan rumput laut.

Budidaya rumput laut dengan metode RD memberikan hasil yang berbeda dari metode PT, karena menyebabkan peningkatan Yc yang sejalan dengan peningkatan LPH dan Y (Hurtado *dkk.*, 2008). Hal ini disebabkan lokasi budidaya dengan metode RD yang berada di perairan dangkal dan secara praktis memperoleh pasokan unsur hara dari lingkungan sekitarnya, karena eutrofikasi antropogeni (Heathcote, 2013). Pertumbuhan rumput laut yang cepat tergantung pada ketersediaan unsur hara nitrat dan fosfat yang dibutuhkan. Semakin subur perairan semakin cepat pertumbuhan rumput laut yang berpengaruh terhadap peningkatan LPH, Y dan Yc.

Laju pertumbuhan harian dari *Kappaphycus alvarezii* strain hijau dan coklat berdasarkan ANOVA cenderung berkurang menurut peningkatan kedalaman. Tabel 2 menunjukkan bahwa LPH tertinggi dari strain hijau terjadi pada kedalaman 1 meter, sementara strain coklat pada kedalaman 3 meter. Terlihat bahwa LPH strain hijau berkurang pada kedalaman 1-3 meter, sebaliknya strain coklat meningkat pada kedalaman 1-3 meter.

Laju pertumbuhan harian strain coklat meningkat pada kedalaman 1 dan 5 meter, dan

menunjukkan bahwa pertumbuhan *K. alvarezii* strain coklat semakin cepat pada kedalaman 1-5 meter. Hasil uji Duncan menunjukkan bahwa LPH kedua strain dapat dikelompokkan berdasarkan kedalaman 1, 3 dan 5 meter; 3 dan 4 meter, serta 4 dan 5 meter. Pengelompokan LPH berdasarkan kedalaman ini bermanfaat untuk mengetahui kondisi perairan yang mendukung pertumbuhan rumput laut di perairan dalam.

Table 2. Laju pertumbuhan harian rata-rata, produksi biomassa, dan rendemen karaginan dari *Kappaphycus alvarezii* strain hijau dan coklat

Kedalaman (m)	Strain hijau			Strain coklat		
	LPH (% hari ⁻¹)	Y (g m ⁻²)	Yc (%)	LPH (% hari ⁻¹)	Y (g m ⁻²)	Yc (%)
1	4.18	749.29	13.40	4.11	724.44	12.61
3	4.16	742.98	14.08	4.19	754.51	13.57
5	3.96	671.84	14.74	4.11	727.16	13.52
7	3.81	629.19	15.33	4.00	688.03	14.45
9	3.69	593.46	16.53	3.86	642.47	14.85
Rata-rata	3.96	677.35	14.82	4.05	707.32	13.80

Catatan: Laju pertumbuhan harian (LPH); Produksi biomassa (Y); Rendemen karaginan (Yc) (Sumber: Wenno dkk., 2018).

KESIMPULAN DAN SARAN

Budidaya rumput laut dengan metode PT akan menyebabkan laju pertumbuhan harian dan produksi biomassa berkurang menurut peningkatan kedalaman, sebaliknya rendemen karaginan meningkat. Produksi biomassa rumput laut dari kedua strain meningkat pada kedalaman 1-5 meter, sementara rendemen karaginan dapat dipertahankan pada kedalaman 1 sampai 9 meter. Hasil penelitian ini berbeda dari kondisi rumput laut yang dibudidaya di perairan dangkal dengan metode RD. Kedua metode budidaya sama-sama dapat dimanfaatkan, tergantung pada kondisi perairan, tetapi budidaya dengan metode PT lebih menguntungkan, karena lahan budidaya yang dimanfaatkan oleh metode PT lebih sedikit dibandingkan metode RD, tetapi dengan panen atau produksi biomassa yang lebih tinggi.

Disarankan budidaya rumput laut dengan metode PT dilakukan di lokasi yang memiliki sedikit atau tidak memiliki perairan dangkal.

Metode ini dapat diterapkan untuk budidaya rumput laut masa depan, khususnya jika dikaitkan dengan ketersediaan lahan budidaya yang semakin terbatas dan penerapan rencana tata ruang wilayah (RTRW) yang semakin ketat sebagai akibat dari peningkatan target produksi rumput laut sesuai permintaan pasar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan sebagian program hibah Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat – Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan – Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia menurut kontrak nomor: 090/SP2H/LT/DPRM/IV/2017. Kami berterima kasih karena telah memperoleh kesempatan mengikuti program ini. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Raja dan masyarakat Negeri Booi atas perkenannya, sehingga penelitian ini dapat dilakukan. Kepada seluruh

tenaga lapangan dan perorangan yang membantu, kami ucapkan terima kasih. Atas bantuan dan perhatian kalian penelitian ini diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, H., and H. Porse, 1987. Culture of *Eucheuma cottonii* and *Eucheuma spinosum* in Indonesia. *Hydrobiologia*, 151/152: 355-358.
- Aslan, M.L., 2016. *Panduan Praktis Budidaya Rumput Laut* No. 1 tahun 2016. FPIK-UHO. Cara Budidaya Rumput Laut *Kappaphycus alvarezii* Menggunakan Bibit Hasil Kultur Jaringan.
- Atmadja, W.S., 1996. Pengenalan Jenis Algae Merah (Rhodophyta) dalam Pengenalan Jenis-Jenis Rumput Laut Indonesia. Editor: Atmadja, W.S. Kadi, A. Sulistijo, dan S. Rachmaniar. Puslitbang Oceanologi LIPI. Jakarta.
- Dahuri, R., 2012. *Cetak Biru Pembangunan Kelautan dan Perikanan*. Menuju Indonesia yang Maju, Adil-Makmur, dan Berdaulat. RodaBahari, Bogor. 134 pp.
- Dawes, C.J., 1981. *Marine Botany*. University of South Florida. John Wiley & Sons, New York. 627 pp.
- Distantina, S., Wiratni, M. Fahrurrozi and Rochmadi, 2011. Carrageenan Properties Extracted from *Eucheuma cottonii*, Indonesia. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 78.
- Doty, M.S., 1985. *Eucheuma alvarezii* sp. Nov. (Gigartinales, Rhodophyta) from Malaysia. In: Abbott, I.A., Norris. J.N., eds. Taxonomy of Economic Seaweeds: With Reference to Some Pacific and Carribean Species. California Sea Grant College Program. Rep. T-CSGCP-011, La Jolla, California, 37-45.
- Dy, D.T., and H.T. Yap, 2001. Surge ammonium uptake of the cultured seaweed, *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty (Rhodophyta, Gigartinales). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 265: 89-100.
- Gao, K.S., dan H. Nakahara, 1990. Effects of Nutrients on the Photosynthesis of *Sargassum thunbergii*, *Botanica Marina*, 33: 375-383.
- Goes, H.G., and R.P. Reis, 2011. An initial comparison of tubular netting versus tie-tie methods of cultivation for *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) on the south coast of Rio de Janeiro State, Brazil. *J. Appl. Phycol.* DOI 10.1007/s10811-010-9647-y
- Hatta, A.M. dan K. Yulianto, 1994. Studi budidaya karagenofit *Kappaphycus striatum* (Schmitz) Doty (Rhodophyta, Solieriaceae) di perairan Tual, Maluku Tenggara. Perairan Maluku dan Sekitarnya. ISBN: 979-8105-18-4. Balai Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Ambon. Vol. 6: 57-66.
- Hayashi, L., A. Hurtado, F.E. Msuya, G.B. Bleicher-Lhonneur, and A.T. Critchley, 2010. A review of kappaphycus farming: prospects and constraints In: Israel, A., R. Einav, and J. Seckbach (Eds.) *Seaweeds and their Role in Globally Changing Environments*. ISBN 978-90-481-8568-9, Springer Dordrecht Heidelberg London New York. pp. 255-461
- Heathcote, A.J., 2013. Anthropogenic Eutrophication and Ecosystem Functioning in Freshwater Lakes. Graduate Theses and Dissertations. 12769. <http://lib.dr.iastate.edu/etd/12769>
- Hurtado-Ponce, A.Q., Agbayani, R.F., Chavoso, E.A.J., 1996. Economics of Cultivating *Kappaphycus alvarezii* using fixed-bottom line and hanging-long line methods in Panagatan Cays, Caluya, Antique, Philippines. *J. Appl. Phycol.*, 105: 105-109.
- Hurtado, A.Q., 2007. *Establishment of seaweed nurseries in Zamboanga City, Philippines*. Terminal Report submitted to IFC-ADB, 24 September, 17 pp.
- Hurtado, A.Q., Critchley, A.T., Trespoey, A., and Bleicher-Lhonneur, G., 2008. Growth and carrageenan quality of *Kappaphycus striatum* var. *sacol* grown at different stocking densities, duration of culture and depth. *J. Appl. Phycol.*, 20: 551-555.
- Muñoz, J., Freile-Pelegri, Y., and Robledo, D., 2004. Mariculture of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) color stains in tropical waters of Yucatan, Mexico. *Aquaculture* 239: 161-177.
- Neish, I.C., 2005. *The Eucheuma Seaplant Handbook Volume I*. Agronomics, Biology and Crop System. SEAPlantNet Technical Monograph No. 0505-10A. Makassar.
- Neish, I.C., 2009. *Tropical Red Seaweeds as a Foundation for Integrated Multi Tropic Aquaculture (IMTA) Four Propositions and an Action Plan for This Major Opportunity in the Coral Triangle*. SEAPlant.net Monograph no. HB2E 1209 V3 IMTA.

- Nurdjana, M.I., 2010. *Program Peningkatan Produksi Ikan 353% Periode 2010-2014*. Makalah disajikan dalam Seminar Membangkitkan Kejayaan Indonesia sebagai Negara Maritim. Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya Kementerian Kelautan dan Perikanan. Universitas Hasanuddin. 12 Januari 2010.
- Reis, R.P., and Y. Yoneshigue-Valentin, C.P. Santos, 2008. Spatial and temporal variation of *Hypnea musciformis* carrageenan (Rhodophyta-Gigartinales) from natural beds in Rio de Janeiro State, Brazil. *J. Appl. Phycol*, 20: 1-8
- Skoog, D.A., D.M. West, F.J. Holler, and S.R. Crough, 2003. *Fundamentals of Analytical Chemistry* 8th Ed.
- Scott, W.A.H., 1994. *Collins Gem Kamus Saku Kimia*. Penerbit Erlangga Jakarta, 229 pp.
- Tett, P., R. Gowen, D. Mills, T. Fernandes, L. Gilpin, M. Huxham, K. Kennington, P. Read, M. Service, M. Wilkinson, and S. Malcolm, 2007. Defining and Detecting Undesirable Disturbance in The Context of Marine Eutrophication. *Mar. Poll. Bull.*, 55, 282-297.
- Tisera, W.L., and Naguit, M.R.A., 2009. Ice-ice disease occurrence in seaweed farms in Bais Bay, Negros Oriental and Zamboanga Del Norte. *The Treshold IV*: 1-16.
- Valderrama, D., J. Cai, N. Hishamunda, N. Ridler, I.C. Neish, A.Q. Hurtado, F.E. Msuya, M. Krishnan, R. Narayanakumar, M. Kronen, D. Robledo, E. Gasca-Leyva, and J. Fraga, 2015. *Aquaculture Economics & Management*, 19: 251-277.
- Wenno, P.A., 2011. Method effectiveness for seaweed cultivation in Archipelagic Communities. *Jurnal Balik Diwa Sains dan Teknologi* 2(2): 33-42.
- Wenno, P.A., R. Syamsuddin, E.N. Zainuddin, and R. Ambo-Rappe, 2015. Cultivation of red seaweed *Kappaphycus alvarezii* (Doty) at different depths in South Sulawesi, Indonesia. *AAAL Bioflux*, 8(3): 468-473.
- Wenno, P.A., M.Ch.A. Latumahina, S.R. Loupatty, A.W. Soumokil, dan E. Jamal, 2018. Growth, Biomass Production, and Carrageenan Yield of Cultivated *Kappaphycus alvarezii* (Doty) in Deep Seawater Area of Saparua Bay in Central Maluku. *Aquacultura Indonesiana* 19(1): 28-32.
- Zar, J.H., 1996. *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, New Jersey, 662 pp.