

PENGARUH PERBEDAAN pH PERAIRAN TERHADAP LAJU PERTUMBUHAN LAMUN JENIS *Cymodocea rotundata*

THE EFFECT OF DIFFERENCES pH OF WATERS ON THE GROWTH RATE OF SEAGRASS OF *Cymodocea rotundata*

Yudho Andika^{1*}, Mujizat Kawaroe², Hefni Effendi³, Neviaty Putri Zamani², Erniati¹, Erlangga¹, Saiful Adhar⁴, Imanullah¹, Imamshadiqin¹, Cut Meurah Nurul 'Akla¹, Ayub Sugara⁵, & Bq Tri Khairani Ihami⁶

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Malikussaleh, Aceh Utara, 24355, Indonesia

²Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK, IPB University, Bogor, 16680, Indonesia

³Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, FPIK, IPB University, Bogor, 16680, Indonesia

⁴Program Studi Akuakultur, Fakultas Pertanian, Universitas Malikussaleh Aceh Utara, 24355, Indonesia

⁵Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu, Bengkulu, 38371, Indonesia

⁶Pusat Unggulan Biosains dan Bioteknologi, Universitas Mataram, Mataram, 83115, Indonesia

*E-mail: yudhoandika@unimal.ac.id

ABSTRACT

The continued use of fossil fuels will increase the concentration of carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere. Ocean acidification occurs due to CO₂ in the atmosphere diffusing into the oceans. The oceans are able to absorb CO₂ in the atmosphere as much as 35 % more which causes a decrease in ocean pH. Seagrass *Cymodocea rotundata* is a type of seagrass that can be found growing in tropical waters. This situation raises concerns about the possible impact on the growth of seagrass *C. rotundata*. This study aims to analyze the content of nitrate, phosphate and potassium and the growth of seagrass *C. rotundata* which includes the growth of leaves, rhizomes and roots of *C. rotundata* against differences in pH. The study used an experimental method with a completely randomized design using a random table. A total of 15 jars with a diameter of 20 cm and a height of 25 cm were used with 3 treatments, each treatment was repeated 5 times. The results of the linear regression test showed that pH had an effect on nitrate concentrations, and had a strong effect on phosphate and potassium concentrations. The highest growth rate of *C. rotundata* seagrass leaves in the control ranged from 0.50–1.29 mm/day while the lowest at low pH ranged from 0.07–0.73 mm/day. The growth rate of seagrass rhizomes horizontally and vertically was highest at low pH while the lowest was at control pH. The highest growth rate of seagrass roots at low pH ranged from 0.20–0.90 mm/day. while the lowest was in the control ranged from 0.13–0.43 mm/day. pH also affects the growth rate of leaves, rhizomes and seagrass roots of *C. rotundata*. The lower the pH, the lower the leaf growth rate, in contrast to rhizomes and roots, the lower the pH, the higher the growth rate.

Keywords: acidification, CO₂, leaf, rhizome, root

ABSTRAK

Penggunaan bahan bakar fosil yang terus berlangsung akan meningkatkan konsentrasi karbondioksida (CO₂) di atmosfer. Asidifikasi laut terjadi akibat CO₂ yang berada di atmosfer berdifusi ke lautan. Lautan mampu menyerap CO₂ di atmosfer sebanyak 35 % lebih yang menyebabkan terjadinya penurunan pH laut. Lamun *Cymodocea rotundata* merupakan salah satu jenis lamun yang banyak ditemukan tumbuh di perairan tropis. Keadaan ini menimbulkan kekhawatiran tentang kemungkinan terjadinya dampak pada pertumbuhan lamun *C. rotundata*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan nitrat, fosfat dan kalium dan pertumbuhan lamun *C. rotundata* yang meliputi pertumbuhan daun, rhizoma, dan akar *C. rotundata* terhadap perbedaan pH. Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan rancangan acak lengkap menggunakan tabel acak. Sebanyak 15 toples dengan ukuran diameter 20 cm dan tinggi 25 cm digunakan dengan 3 perlakuan, masing-masing perlakuan 5 kali pengulangan. Hasil uji regresi linier menunjukkan pH berpengaruh terhadap konsentrasi nitrat, dan berpengaruh kuat terhadap konsentrasi fosfat dan kalium. Laju pertumbuhan daun lamun *C. rotundata* tertinggi pada kontrol berkisar antara 0,50–1,29 mm/hari sedangkan yang terendah pada pH rendah berkisar 0,07–0,73 mm/hari. Laju pertumbuhan rhizoma lamun secara horizontal dan vertikal tertinggi pada pH rendah sedangkan yang terendah pada pH kontrol. Laju pertumbuhan akar lamun tertinggi pada pH rendah berkisar antara 0,20–0,90 mm/hari. sedangkan yang terendah pada kontrol berkisar antara 0,13–0,43 mm/hari. pH juga memengaruhi laju pertumbuhan daun, rhizoma dan akar lamun *C. rotundata*. Semakin rendah pH maka laju pertumbuhan daun juga semakin rendah, berbeda dengan rhizoma dan akar semakin rendah pH maka semakin tinggi laju pertumbuhan.

Kata Kunci: akar, asidifikasi, CO₂, daun, rhizoma

I. PENDAHULUAN

Fenomena perubahan iklim berdampak pada terjadinya kenaikan suhu laut, asidifikasi laut dan naiknya permukaan laut (Quere *et al.*, 2018). Asidifikasi laut terjadi akibat karbondioksida (CO₂) yang berada di atmosfer berdifusi ke lautan (Gruber *et al.*, 2019). Penggunaan bahan bakar fosil yang terus berlangsung akan meningkatkan konsentrasi CO₂ di atmosfer (Bindoff *et al.*, 2019). Lautan menerima CO₂ di atmosfer sebanyak 35 % lebih yang menyebabkan terjadinya penurunan pH laut. Nilai pH air laut menggambarkan konsentrasi karbon terlarut, semakin tinggi CO₂, maka nilai pH akan semakin rendah (Sarmiento & Gruber, 2006; Gruber *et al.*, 2019). pH laut diprediksi akan turun hingga 0,5-0,7 unit dalam 100 tahun ke depan (IPCC, 2014). Tahun 2008-2017 terjadi kenaikan konsentrasi CO₂ yang dipengaruhi oleh kondisi meteorologi di Provinsi DKI Jakarta (Agustina *et al.*, 2019), keadaan ini menimbulkan kekhawatiran tentang kemungkinan terjadinya dampak perubahan pada ekosistem dan organisme laut (Egea *et al.*, 2018).

Asidifikasi laut berpotensi mengubah struktur, komposisi dan fungsi ekosistem khususnya kelimpahan, distribusi atau ukuran dari biota dalam ekosistem (Saba *et al.*, 2019). Ekosistem terumbu karang dan ekosistem lamun merupakan ekosistem yang didalamnya banyak hidup biota laut. Doo *et al.* (2020) melaporkan bahwa adanya dampak asidifikasi laut pada ekosistem terumbu karang diantaranya mengurangi aktivitas kalsifikasi, meningkatkan kemaitan dan terjadinya bioerosi karang. Banyak makrofauna yang rentan terhadap pengasaman laut, sekitar 30 % terjadi penurunan keanekaragaman hayati pada ekosistem terumbu karang (Agostini *et al.*, 2018). Hewan laut yang hidup di ekosistem terumbu karang seperti spons, *serpulida*, *vermetida*, tiram, remis, dan *bryozoa* akan terdegradasi akibat rusaknya ekosistem

terumbu karang (Hall-Spencer & Harvey, 2019). Berbeda dengan ekosistem terumbu karang, ekosistem lamun umumnya dianggap sebagai ekosistem yang dapat terdampak fenomena asidifikasi dalam meningkatkan aktivitas fotosintesis (Koch *et al.*, 2013).

Hasil penelitian pengaruh asidifikasi secara *in situ* menunjukkan adanya peningkatan produktivitas lamun, peningkatan pertumbuhan lamun, dan peningkatan biomassa lamun pada spesies *Zostera marina* (Pajusalu *et al.*, 2016), *Thalassia hemprichii* (Jiang *et al.*, 2010), *Zostera muelleri* (Collier *et al.*, 2018), *Cymodocea nodosa* (Santos *et al.*, 2017) and *Posidonia oceanica* (Cox *et al.*, 2016). Lamun mengalami peningkatan pertumbuhan hingga lima kali lipat dari aktivitas vulkanik di Papua Nugini (Takahashi *et al.*, 2016). Hasil yang berbeda telah ditunjukkan oleh Duarte *et al.* (2013), asidifikasi mengubah keseragaman komunitas lamun menjadi lebih rendah, penurunan kepadatan, pertumbuhan lamun (Apostolaki *et al.*, 2014) dan penurunan aktivitas fotosintesis (Andika *et al.*, 2020), serta pada spesies *Cymodocea serrulata* tidak menunjukkan adanya pengaruh terhadap pertumbuhan. Hal ini sejalan dengan Sjafrie *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa ekosistem lamun mudah mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh faktor alam.

Secara global, kelimpahan lamun menurun 5 % per tahun, berkaitan dengan penurunan kualitas air (Aboud & Kannah, 2017). Faktor kualitas perairan yang menjadi pembatas pertumbuhan, kelimpahan, kerapatan dan kondisi lamun di suatu perairan adalah CO₂, HCO₃⁻, intensitas cahaya, suhu, salinitas, pH, arus dan nutrisi (Bengen, 2001). Andika *et al.* (2020) menyatakan pH merupakan faktor yang dapat menghambat aktivitas fisiologis lamun. Spesies lamun hidup dalam lingkungan yang kompleks, dengan demikian respons lamun terhadap asidifikasi

kemungkinan akan dimodulasi oleh interaksi dengan spesies lain (Martin *et al.*, 2008). Short *et al.* (2011) dan Kawaroe *et al.* (2016) menyatakan bahwa di perairan Indo-pasifik jenis lamun *Cymodocea rotundata* merupakan salah satu spesies yang banyak ditemukan. Penelitian sebelumnya Andika *et al.* (2020) telah menganalisis pengaruh pH terhadap fisiologis daun lamun *C. rotundata*. Penelitian ini didasari karena belum adanya data dan informasi tentang dampak asidifikasi terhadap pertumbuhan lamun *C. rotundata* yang berada di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pertumbuhan lamun *C. rotundata* yang meliputi pertumbuhan daun, rhizoma, dan akar *C. rotundata* terhadap perbedaan pH.

II. MATERI DAN METODE

2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan September 2017 sampai April 2018. Tunas lamun *C. rotundata* diambil di Kepulauan Seribu, Jakarta. Lamun kemudian ditransplantasi dalam toples di Laboratorium *Marine Habitat*, Ilmu dan Teknologi Kelautan, IPB University.

2.2. Alat dan Bahan

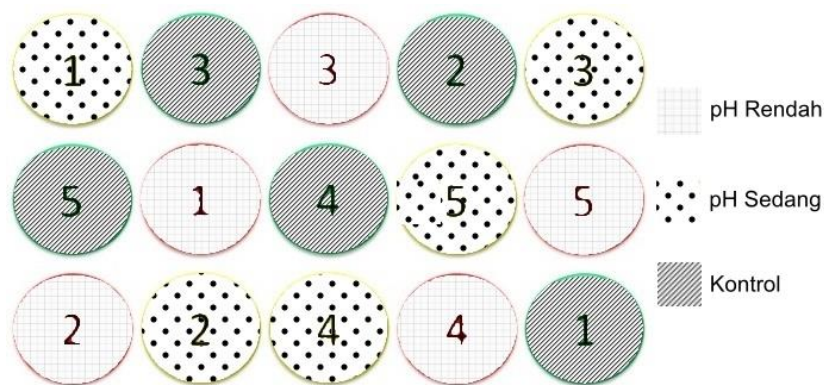
Alat yang digunakan dalam penelitian diantaranya adalah pH meter, termometer, lampu LED (*Light Emitting Diode*), refraktometer, gelas ukur, kantong

sampel, timbangan, penggaris, botol sampel, pipet tetes, sekop, *coolbox*, kamera, dan alat tulis. Bahan yang digunakan adalah lamun *C. rotundata*, pupuk NPK cair, etanol, air laut, akuades dan *CO₂ booster*.

2.3. Metode Pengumpulan Data

Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan rancangan acak lengkap menggunakan tabel acak. Sebanyak 15 toples dengan ukuran diameter 20 cm dan tinggi 25 cm digunakan untuk 3 perlakuan, masing-masing perlakuan dengan 5 kali pengulangan (Gambar 1). Perlakuan nilai pH mengacu pada IPCC (2014), Perlakuan 1: pH rendah yaitu 7,55 prediksi pH laut dalam 100 tahun kedepan, perlakuan 2: pH sedang yaitu 7,78 prediksi pH laut dalam 50 tahun kedepan, dan kontrol: yaitu 8,20 kondisi pH saat ini. *CO₂ booster* cair digunakan untuk menurunkan pH air laut. Perlakuan untuk mendapatkan pH rendah dan sedang diberikan *CO₂ booster* cair sesuai dengan nilai rentang yang telah ditentukan. Upaya menjaga nilai pH tetap konstan pada rentang yang telah ditentukan maka perlu dikontrol setiap 12 jam sekali dengan menambahkan *CO₂ booster* cair.

Tunas lamun dan sedimen diambil sebanyak 15 sampel dari Pulau Pari kemudian ditransplantasi ke dalam toples (Riniatsih & Endrawati, 2013). Air laut yang digunakan sebanyak 1,5 L. Pemberian pupuk cair *booster X* konsentrasi 1,5 ml



Gambar 1. Rancangan penelitian (rancangan acak lengkap).

dalam 1,5 L air laut diberikan 2 minggu sekali dan lampu LED 5 watt dipasang 30 cm di atas toples. Keadaan ini disesuaikan dengan kondisi di lapangan dan pada penelitian pendahuluan. Kualitas perairan yang diukur yaitu suhu dan salinitas (APHA, 2012). Data kandungan nitrat, fosfat dan kalium pada perairan diambil setelah 30 hari pengamatan.

2.4. Analisis Data

Perhitungan laju pertumbuhan daun, rhizoma dan akar lamun *C. rotundata* berdasarkan Short & Duarte (2001), laju pertumbuhan daun, rhizoma dan akar menggunakan rumus:

$$P = \frac{Pt - P0}{\Delta t}$$

Keterangan: *P* adalah laju pertumbuhan (mm/hari), *P0* adalah panjang awal (mm), *Pt* panjang akhir (mm), Δt waktu pengamatan (hari)

2.5. Analisis Statistik

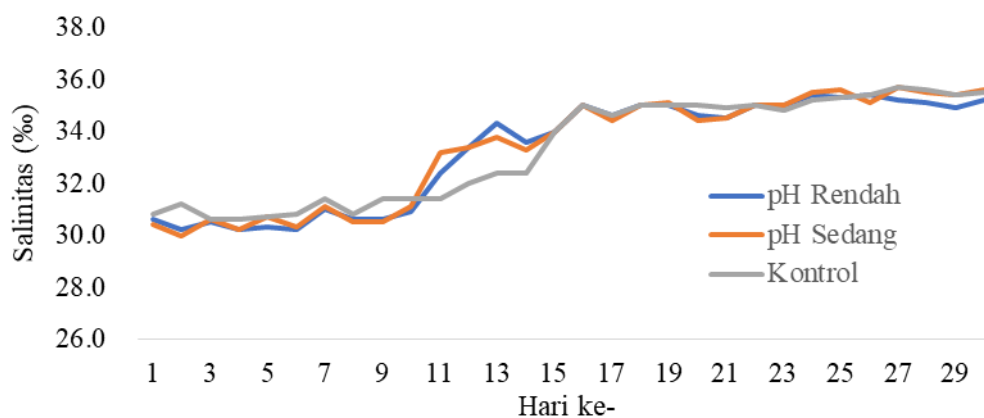
Analisis statistik dilakukan menggunakan ANOVA *single factor* pada taraf 5 % dengan *Microsoft Office Excel* untuk pengaruh pH terhadap suhu, salinitas, nitrat, fosfat, dan kalium serta pengaruh pH terhadap pertumbuhan daun, rhizoma dan akar lamun (Suliyanto, 2012).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

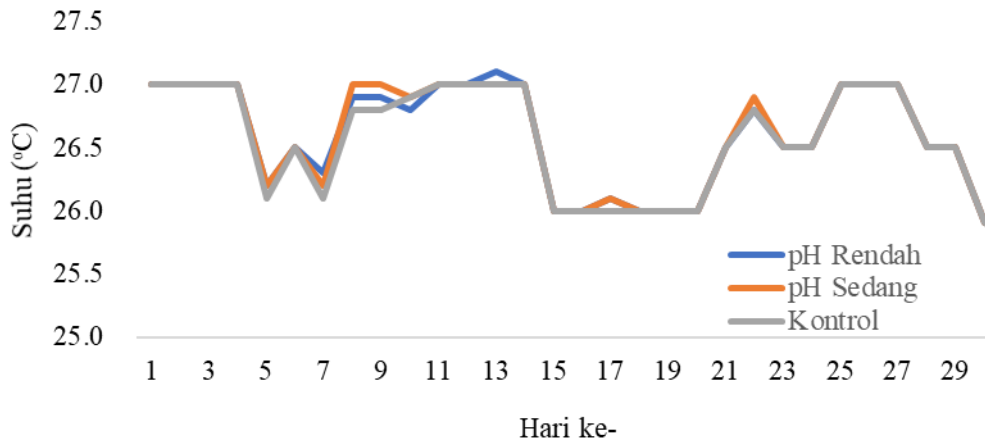
3.1. Paramater Kualitas Perairan

Hasil pengamatan salinitas rata-rata selama 30 hari (Gambar 2) pada pH rendah yaitu $33,27 \pm 2,08$ ‰, pada pH sedang yaitu $33,33 \pm 2,12$ ‰, dan pada pH kontrol yaitu $33,26 \pm 2,06$ ‰. Nilai salinitas terendah yaitu 30,00 psu pada perlakuan kontrol hari ke 11 dan nilai salinitas tertinggi yaitu 35,70 ‰ pada kontrol dan pH sedang hari ke 27. Hasil uji ANOVA menunjukkan ($P > 0,05$) hasil rata-rata salinitas tidak berbeda signifikan, sehingga pH tidak berpengaruh terhadap perubahan salinitas. Rata-rata nilai salinitas yang didapat masih dalam rentang optimum untuk pertumbuhan lamun. Salinitas optimal untuk pertumbuhan lamun yaitu 35 ‰ dengan toleransi 10 psu–40 ‰. Penelitian sebelumnya Rahman *et al.* (2016), Arfiati *et al.* (2019), dan Prayogo *et al.* (2021) melaporkan bahwa salinitas yang diperoleh masih dalam rentang optimal.

Hasil pengamatan suhu rata-rata selama 30 hari (Gambar 3) pada pH rendah yaitu $26,60 \pm 0,41$ °C, pada pH sedang yaitu $26,61 \pm 0,42$ °C, dan pada pH kontrol yaitu $26,61 \pm 0,42$ °C. Nilai suhu terendah yaitu 25,90 °C pada ketiga perlakuan hari ke 30 dan nilai suhu tertinggi yaitu 27,10 °C pada perlakuan pH rendah hari ke 13. Pada hari ke 4–8 dan hari ke 15–20 terjadi penurunan suhu air laut, hal ini terjadi karena pada hari



Gambar 2. Rata-rata nilai salinitas selama 1 bulan pengamatan.



Gambar 3. Rata-rata nilai suhu selama 1 bulan pengamatan.

tersebut terjadi hujan sehingga diduga berpengaruh terhadap suhu ruangan laboratorium yang diduga berdampak juga terhadap suhu air laut. Hasil uji ANOVA menunjukkan ($P > 0,05$) hasil rata-rata suhu tidak berbeda signifikan, sehingga pH tidak berpengaruh terhadap perubahan suhu. Paramitha *et al.* (2014) juga menyebutkan bahwa faktor yang memengaruhi suhu perairan diantaranya adalah cuaca, musim, kedalaman perairan, dan gelombang. Suhu optimal untuk pertumbuhan lamun berkisar antara 25 °C–35 °C (Hidayat *et al.*, 2014; Prayogo *et al.*, 2021). Lamun juga mampu hidup pada suhu Ekstrim (Collier & Waycot, 2014).

3.2. Kandungan Nitrat Fosfat dan Kalium

Hasil pengamatan kandungan nitrat pada air laut menunjukkan kandungan pada perlakuan pH rendah yaitu berkisar antara 17,89–24,30 ppm, pada perlakuan pH sedang yaitu antara 17,05–21,78 ppm dan pada kontrol yaitu berkisar 19,49–25,87 ppm. Hasil uji ANOVA menunjukkan nilai $P > 0,05$, hal ini menunjukkan bahwa nilai rata-rata nitrat tidak berbeda signifikan. Hasil pengamatan kandungan fosfat pada air laut menunjukkan kandungan pada perlakuan pH rendah yaitu berkisar antara 16,63–49,15 ppm, pada perlakuan pH sedang yaitu berkisar antara 4,89–18,45 ppm

dan pada kontrol yaitu berkisar antara 1,11–1,21 ppm. Hasil uji ANOVA menunjukkan nilai $P < 0,05$, hal ini menunjukkan bahwa nilai rata-rata posfat berbeda signifikan, semakin rendah pH maka semakin tinggi kandungan fosfat di laut. Hasil pengamatan kandungan kalium pada air laut menunjukkan kandungan pada perlakuan pH rendah yaitu berkisar antara 860,35–1384,04 ppm, pada perlakuan pH sedang yaitu berkisar antara 592,27–804,74 ppm dan pada kontrol yaitu berkisar antara 504,99–517,46 ppm. Hasil uji ANOVA menunjukkan nilai $P < 0,05$, hal ini menunjukkan bahwa nilai rata-rata kalium berbeda signifikan, semakin tinggi nilai pH maka semakin rendah kandungan kalium di laut. Rata-rata nilai kandungan nitrat, fosfat dan kalium disajikan pada Tabel 1.

Asidifikasi laut berdampak pada tinggi-rendahnya konsentrasi nutrien di perairan (Ravaglioli, 2017). Proporsi nutrien, baik NH_3 dan PO_4^{3-} sangat sensitif terhadap nilai pH (Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001). Blackford & Gilbert (2007) telah menunjukkan penurunan laju nitrifikasi hingga nol pada pH 6–6,5 karena kehilangan unsur NH_3 dari sistem, sehingga nitrat menjadi berkurang dan terjadi peningkatan pada fosfat. Nutrien yang terdapat pada air laut sangat penting untuk keberlangsungan hidup lamun. Unsur nitrat, fosfat dan kalium merupakan unsur yang sangat dibutuhkan

Tabel 1. Rata-rata nilai kandungan nitrat, fosfat dan kalium

Perlakuan	Nitrat (ppm)	Fosfat (ppm)	Kalium (ppm)
Rendah	19,76 ± 2,67	26,82 ± 12,99	1196,97 ± 211,57
Sedang	18,74 ± 1,83	11,24 ± 5,81	694,61 ± 104,23
Kontrol	22,21 ± 2,49	1,16 ± 0,03	507,48 ± 5,57

Keterangan: Nilai yang ditampilkan rata-rata setiap ulangan dan dengan standar deviasi.

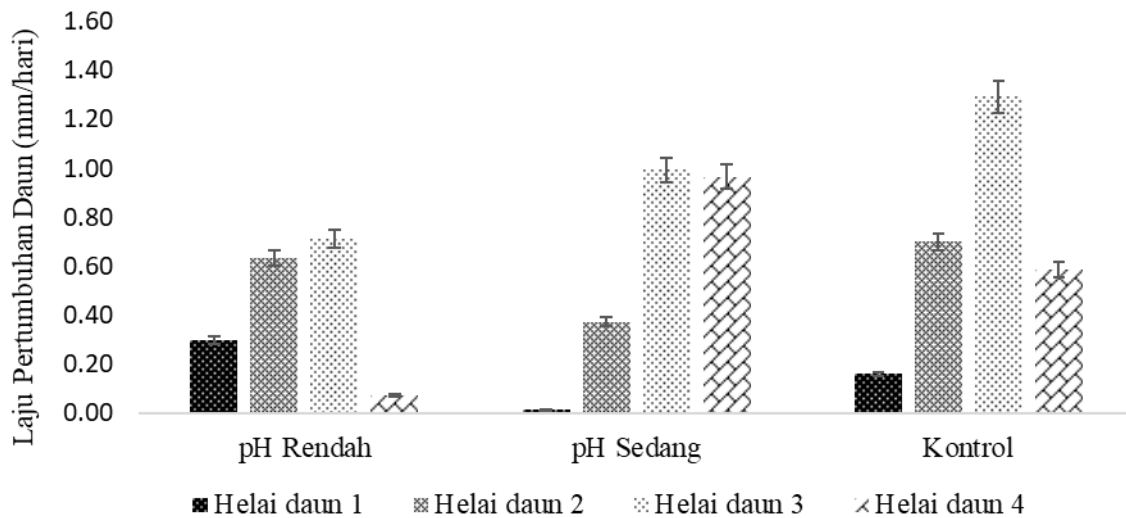
oleh lamun untuk pertumbuhan lamun. Nitrat sangat dibutuhkan lamun untuk pertumbuhan daun lamun, sedangkan fosfat dibutuhkan lamun untuk pertumbuhan rhizoma dan akar lamun (Kawaroe *et al.*, 2016). Nutrien hanya dalam bentuk terlarut yang dapat dimanfaatkan oleh lamun.

3.3. Pertumbuhan Daun Lamun *C. rotundata*

Hasil laju pertumbuhan rata-rata daun lamun *C. rotundata* selama satu bulan (Gambar 4). Laju pertumbuhan rata-rata helai daun lamun pada perlakuan pH rendah berkisar antara 0,07-0,71 mm/hari, laju pertumbuhan rata-rata daun lamun *C. rotundata* tertinggi yaitu laju pertumbuhan helai daun 3 dan laju pertumbuhan rata-rata daun terendah yaitu laju pertumbuhan helai daun 4. Laju pertumbuhan rata-rata helai daun lamun pada perlakuan pH sedang berkisar antara 0,01-0,99 mm/hari, laju pertumbuhan rata-rata daun lamun *C. rotundata* tertinggi yaitu laju pertumbuhan helai daun 3 dan laju pertumbuhan rata-rata daun terendah yaitu laju pertumbuhan helai daun 1. Laju pertumbuhan rata-rata helai daun lamun pada pH kontrol berkisar antara 0,16-1,29 mm/hari, laju pertumbuhan rata-rata daun lamun *C. rotundata* tertinggi yaitu laju pertumbuhan helai daun 3 dan laju pertumbuhan rata-rata daun terendah yaitu laju pertumbuhan helai daun 1. Helai daun 1 dan helai daun 2 merupakan daun awal hasil dari transplantasi dari alam ke laboratorium, sedangkan helai daun 3 dan helai daun 4 merupakan daun yang baru tumbuh setelah di beri perlakuan. Laju pertumbuhan rata-rata helai daun 3 dan helai daun 4 menunjukkan reaksi daun dalam merespon

perubahan lingkungan terutama pH laut. Sesuai dengan laporan Rahman *et al.* (2016) bahwa pertumbuhan daun lamun yang muda lebih cepat dibandingkan daun lamun yang tua. Penelitian McEnaney (2019) menunjukkan penurunan pH tidak berpengaruh terhadap proses respirasi sehingga proses respirasi tidak terganggu oleh kondisi pH.

Laju pertumbuhan rata-rata daun lamun pada perlakuan pH rendah berkisar antara 0,07–0,73 mm/hari. Laju pertumbuhan rata-rata daun lamun *C. rotundata* pada perlakuan pH sedang berkisar antara 0,01–0,99 mm/hari. Laju pertumbuhan rata-rata daun lamun *C. rotundata* pada kontrol berkisar antara 0,50–1,29 mm/hari. Hasil uji ANOVA menunjukkan rata-rata hasil laju pertumbuhan helai daun 1, helai daun 2, helai daun 3, dan helai daun 4 tidak berbeda signifikan ($P > 0,05$). Tingginya pertumbuhan helai daun pada pH kontrol diduga kandungan klorofil pada daun tidak rusak, sehingga masih optimal dalam aktivitas fotosintesis. Menurut Andika *et al.* (2020) pH rendah akan menghilangkan unsur klorofil sehingga menghambat proses fotosintesis. Walaupun dalam keadaan pH rendah, konsentrasi CO_2 yang tinggi tidak bisa dimanfaatkan oleh lamun *C. rotundata* karena hilangnya unsur klorofil yang merupakan bagian penting dalam proses fotosintesis. Fotosintesis pada pH kontrol juga memanfaatkan bikarbonat sebagai sumber karbon. Pada kondisi kekurangan CO_2 , sebagian besar lamun mampu menggunakan bikarbonat sebagai sumbernya karbon anorganik terlarut, tetapi penggunaannya relatif tidak efisien



Gambar 4. Rata-rata pertumbuhan daun lamun *C. rotundata*.

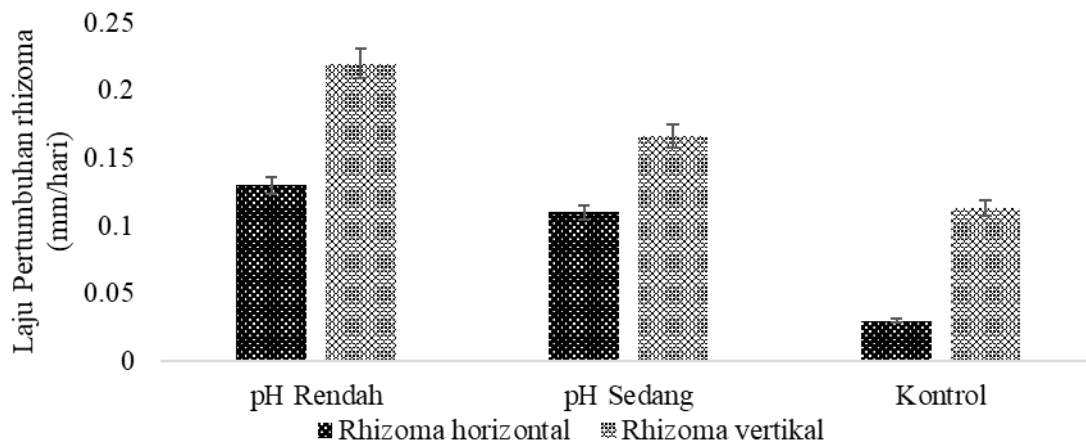
dibandingkan dengan CO₂ (Invers *et al.*, 1997). pH tidak memengaruhi pertumbuhan daun lamun secara langsung, pH memengaruhi ketersediaan nitrat yang berdampak pada pertumbuhan daun lamun. Ketersediaan nitrat menjadi faktor pembatas pertumbuhan daun lamun. Kondisi pH normal nitrat akan diserap secara cepat melalui proses abiotik maupun penyerapan biologis, dengan demikian penyerapan nitrat oleh lamun lebih optimal (Campbell & Fourqurean, 2014).

3.4. Pertumbuhan Rhizoma Lamun *C. rotundata*

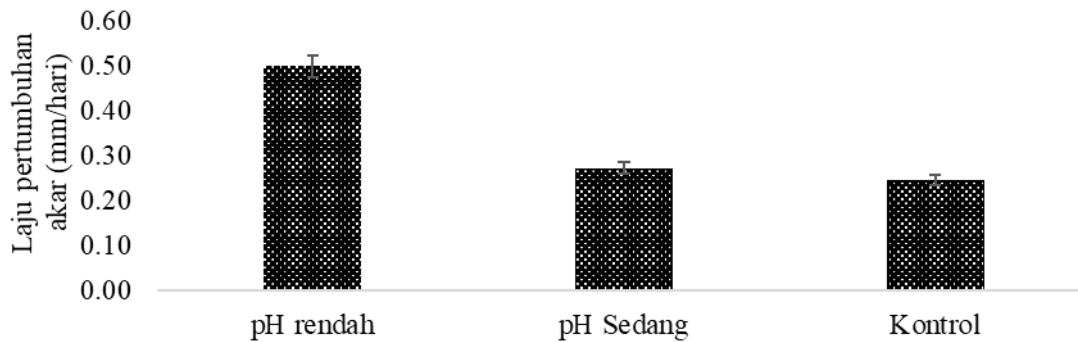
Hasil laju pertumbuhan rata-rata rhizoma lamun *C. rotundata* selama satu bulan (Gambar 5). Laju pertumbuhan rata-rata rhizoma horizontal lamun pada perlakuan pH rendah berkisar antara 0–0,33 mm/hari. Laju pertumbuhan rata-rata rhizoma horizontal lamun pada perlakuan pH sedang berkisar antara 0–0,26 mm/hari. Laju pertumbuhan rata-rata rhizoma horizontal lamun pada kontrol berkisar antara 0–0,06 mm/hari. Rendahnya pertumbuhan rhizoma horizontal dibandingkan dengan rhizoma vertikal disebabkan karena rhizoma horizontal pada waktu pembibitan dipotong sebagai tunas, sehingga rhizoma vertikal perlu

memperbaiki dulu jaringannya kembali baru kemudian dapat tumbuh normal. Pada perlakuan pH rendah, proses recovery rhizoma lamun tergolong cepat dan pertumbuhannya juga cepat. Andika *et al.* (2020) juga menambahkan dalam penelitian yang tidak dipublikasikan bahwa jaringan pada rhizoma pada pH rendah sangat bagus dibandingkan dengan pada pH normal. Pernyataan ini terbukti pada penelitian yang menunjukkan laju pertumbuhan rhizoma lamun *C. rotundata* secara horizontal cukup signifikan.

Laju pertumbuhan rata-rata rhizoma vertikal pada perlakuan pH rendah berkisar antara 0,13–0,33 mm/hari. Laju pertumbuhan rata-rata rhizoma vertikal pada perlakuan pH sedang berkisar antara 0,10–0,23 mm/hari. Laju pertumbuhan rata-rata rhizoma vertikal pada perlakuan pH kontrol berkisar antara 0,06–0,16 mm/hari. Hasil uji ANOVA menunjukkan rata-rata hasil laju pertumbuhan rhizoma horizontal dan rhizoma vertikal tidak berbeda signifikan ($P > 0,05$). pH memainkan peranan penting dalam konsentrasi nutrisi khususnya fosfat dan kalium pada kolom air. Lamun memanfaatkan kondisi ini untuk pertumbuhan rhizoma baik itu pertumbuhan secara horizontal maupun pertumbuhan secara vertikal. Pada pH rendah perairan



Gambar 5. Rata-rata pertumbuhan rhizoma lamun *C. rotundata*.



Gambar 6. Rata-rata pertumbuhan akar lamun *C. rotundata*.

menunjukkan konsentrasi fosfat dan kalium yang tinggi, sehingga lamun dapat memanfaatkan nutrisi tersebut untuk pertumbuhan rizomanya. Mishra (2020) juga melaporkan bahwa pertumbuhan rhizoma lamun lebih tinggi pada kondisi pH rendah dan konsentrasi CO₂ yang tinggi dibandingkan dengan kondisi pH normal. Pengamatan kandungan nutrisi dalam rhizoma lamun pada kondisi pH rendah mengandung komponen nutrisi yang tinggi dibandingkan pH normal (Mishra, 2020).

3.5. Pertumbuhan Akar Lamun *C. rotundata*

Hasil laju pertumbuhan rata-rata akar lamun *C. rotundata* selama satu bulan (Gambar 6). Laju pertumbuhan rata-rata akar lamun pada perlakuan pH rendah

berkisar antara 0,20–0,90 mm/hari. Laju pertumbuhan rata-rata akar lamun pada perlakuan pH sedang berkisar antara 0,06–0,70 mm/hari. Laju pertumbuhan rata-rata akar lamun pada kontrol berkisar antara 0,13–0,43 mm/hari. Hasil uji ANOVA menunjukkan rata-rata hasil laju pertumbuhan akar tidak berbeda signifikan ($P > 0,05$). Laju pertumbuhan akar lamun *C. rotundata* tertinggi pada perlakuan pH rendah sedangkan laju pertumbuhan yang terendah pada perlakuan pH kontrol. pH tidak memengaruhi pertumbuhan akar lamun *C. rotundata* secara langsung. pH berpengaruh kuat terhadap konsentrasi nutrisi kolom air, sehingga lamun dapat memanfaatkan nutrisi dalam pertumbuhan akar. Sesuai dengan Mishra (2020) bahwa kandungan nutrisi dalam akar lamun pada

kondisi pH rendah mengandung komponen nutrisi yang lebih tinggi dibandingkan pH normal. Penurunan pH akan memengaruhi sedimen (Collier *et al.*, 2018). Akar lamun punya kemampuan detoksifikasi dalam kondisi lingkungan penuh tekanan (Hasler-Sheetal & Holmer, 2015; Martin *et al.*, 2018) dan mempertahankan *oxic microshield* di sekitar akarnya dengan memompa oksigen dari daun (Brodersen *et al.*, 2015) sehingga akar mampu memanfaatkan nutrisi dalam pertumbuhannya.

IV. KESIMPULAN

pH perairan berpengaruh terhadap konsentrasi nitrat, fosfat dan kalium. Hasil uji ANOVA menunjukkan rata-rata nilai fosfat dan kalium berbeda signifikan. pH perairan tidak berpengaruh signifikan terhadap laju pertumbuhan daun, rhizoma dan akar lamun *C. rotundata*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Ibu Dr. Mujizat Kawaroe dan Ibu Dr. Neviaty Putri Zamani yang telah mendanai dan memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aboud, S.A. & J.F. Kannah. 2017. Abundance, distribution and diversity of seagrass species in lagoonal reefs on the Kenyan coast. *American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 37(1): 52-67. https://www.asrjetsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/article/view/3484

American Public Health Association (APHA). 2012. Standar method for the examination of water and waste water. 22 Edition. Environmental

Protection Agency Press. Washington DC. 1360 pp.

Agostini, S., B.P. Harvey, S. Wada, K. Kon, M. Milazzo, K. Inaba, & J.M. Hall-Spencer. 2018. Ocean acidification drives community shifts towards simplified non-calcified habitats in a subtropical-temperate transition zone. *Scientific Report*, 8(11354): 1-11 <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29251-7>

Agustina, L., P.P. Simanjuntak, & A.N. Khoir. 2019. Pengaruh parameter meteorologi terhadap Konsentrasi CO₂ dan CH₄ di DKI Jakarta. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 6(2): 39-47. <https://doi.org/10.36754/jmkg.v6i2.121>

Andika, Y., M. Kawaroe, H. Effendi, & N.P. Zamani. 2020. Pengaruh kondisi pH terhadap respons fisiologis daun lamun jenis *Cymodocea rotundata*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2): 487-495. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i2.21632>

Apostolaki, E.T., S. Vizzini, I.E. Hendriks, & Y.S. Olsen. 2014. Seagrass ecosystem response to long-term high CO₂ in a mediterranean volcanic vent. *Marine Environmental Research*, 99: 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.05.008>

Arfiati, D., E.Y. Herawati, N.R. Buwono, & A. Firdaus. 2019. Struktur komunitas makrozoobentos pada ekosistem lamun di Paciran, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 3(1): 1-7. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2019.003.01.1>

Bengen, D.G. 2001. Ekosistem dan sumberdaya alam pesisir. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan. Bogor. 62 p.

- Bindoff, N.L., W.W.L. Cheung, J.G Kairo, J. Ari 'stegui, V.A. Guinder, R. Hallberg, N. Hilmi, et al. 2019. Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities. In IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Ed. By H.-O. Portner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, et al. in press.
- Blackford, J.C., & F.J. Gilbert. 2007. pH variability and CO₂ induced acidification in the North Sea. *Journal of Marine Systems*, 64(1-4): 229-241. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2006.03.016>
- Brodersen, K.E., D.A. Nielsen, P.J. Ralph, & M. Kuhl. 2015. Oxic microshield and local pH enhancement protects *Zostera muelleri* from sediment derived hydrogen sulphide. *New Phytologist*, 205(3): 1264-1276. <https://doi.org/10.1111/nph.13124>
- Campbell, J.E. & J.W. Fourqurean. 2014. Ocean acidification outweighs nutrient effects in structuring seagrass epiphyte communities. *Journal Ecology*, 102(3): 730–737. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12233>
- Collier, C.J., L. Langlois, Y. Ow, C. Johansson, M. Giammusso, M.P. Adams, K.R. O'Brien & S. Uthicke. 2018. Losing a winner: thermal stress and local pressures outweigh the positive effects of ocean acidification for tropical seagrasses. *New Phytologist*, 219(3): 1005–1017. <https://doi.org/10.1111/nph.15234>
- Collier, C.J., & M. Waycott. 2014. Temperature extremes reduce seagrass growth and induce mortality. *Marine Pollution Bulletin*, 83(2): 483-490. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.03.050>
- Cox, T.E., F. Gazeau, S. Alliouane, I.E. Hendriks, P. Mahaeck, A. Le Fur, & J.P. Gattuso. 2016. Effects of in situ CO₂ enrichment on structural characteristics, photosynthesis, and growth of the mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Biogeosciences*, 13: 2179–2194. <https://doi.org/10.5194/bg-13-2179-2016>
- Doo, S.S., A. Kealoha, A. Andersson, A.L. Cohen, T.L. Hicks, Z.I Johnson, M.H. Long, P. McElhany, N. Mollica, K.E.F. Shamberger, N.J. Silbiger, Y. Takeshita, & D. Busch. 2020. The challenges of detecting and attributing ocean acidification impacts on marine ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 77(7-8): 2411–2422. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa094>
- Duarte, C.M., I.E. Hendriks, T.S. Moore, Y.S. Olsen, A. Steckbauer, L. Ramajo, & J. Carstensen. 2013. Is ocean acidification an open-ocean syndrome? understanding anthropogenic impacts on seawater pH. *Estuaries Coasts*. 36(2): 221–236. <https://doi.org/10.1007/s12237-013-9594-3>
- Effendi, H. 2003. Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumberdaya dan lingkungan perairan. Kanisius. Yogyakarta. 257 pp.
- Egea, L.G., R.J. Ramos, I. Hernández, T.J. Bouma, & F.G. Brun. 2018. Effects of ocean acidification and hydrodynamic conditions on carbon metabolism and dissolved organic carbon (DOC) fluxes in seagrass populations. *Plos One*. 13(2): 1-20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192402>
- Gruber, N., D. Clement, B.R. Carter, R.A. Feely, S.V. Heuven, M. Hoppema,

- M. Ishii, R.M. Key, A. Kozyr, S.K. Lauvset, C. Lo Monaco, J.T. Mathis, A. Murata, A. Olsen, F.F. Perez, C.L. Sabine, T. Tanhua, & R. Wanninkhof. 2019. The oceanic sink for anthropogenic CO₂ from 1994 to 2007. *Science*, 363(6432): 1193–1199. <https://doi.org/10.1126/science.aau5153>
- Hall-Spencer, J.M. & B.P. Harvey. 2019. Ocean acidification impacts on coastal ecosystem services due to habitat degradation. *Emerging Topics in Life Sciences*, 3(2): 197–206. <https://doi.org/10.1042/ETLS20180117>
- Hasler-Sheetal, H. & M. Holmer. 2015. Sulfide intrusion and detoxification in the seagrass *Zostera marina*. *PLoS one*, 10(6): 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129136>
- Hidayat, M., Ruswahyuni, & N. Widyorini. 2014. analisis laju sedimentasi di daerah padang lamun dengan tingkat kerapatan berbeda di Pulau Panjang, Jepara. *Management of Aquatic Resources*, 3(3): 73-79. <https://doi.org/10.14710/marj.v3i3.5624>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge. 1434 pp.
- Invers, I., J. Romero, & M. Perez. 1997. Effects of pH on seagrass photosynthesis: a laboratory and field assessment. *Aquatic Botany*, 59(1-4): 185-194. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(97\)00072-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(97)00072-7)
- Jiang, Z.J., X.P. Huang, J.P. Zhang. 2010. Effects of CO₂ enrichment on photosynthesis, growth, and biochemical composition of seagrass *Thalassia hemprichii* (Ehrenb.) aschers. *Journal of Integrative Plant Biology*, 52(10): 904–913. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2010.00991.x>
- Johnson, R.A., K.M. Hanes, A.B. Bolten, & K.A. Bjorndal. 2022. Simulated green turtle grazing alters effects of environmental drivers on seagrass growth dynamics across seasons. *Limnology and Oceanography*, 9999: 1-14. <https://doi.org/10.1002/lno.12227>
- Kawaroe, M., A.H. Nugraha, & Juraij. 2016. Ekosistem padang lamun. IPB press. Bogor. 114 pp.
- Koch, M., G. Bowes, C. Ross, & X.H. Zhang. 2013. Climate change and ocean acidification effects on seagrasses and marine macroalgae. *Global Change Biology*, 19(1): 103–132. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02791.x>
- Le Qué're, C., R.M. Andrew, P. Friedlingstein, S. Sitch, J. Pongratz, A.C. Manning, J.I. Korsbakken, *et al.* 2018. Global carbon budget. *Earth System Science Data*, 10: 405-448. <https://doi.org/10.5194/essd-10-2141-2018>
- Martin, B.C., J. Bougoure, M.H. Ryan, W.W. Bennett, T.D. Colmer, N.K. Joyce, Y.S. Olsen, & G.A. Kendrick. 2018. Oxygen loss from seagrass roots coincides with colonisation of sulphide-oxidising cable bacteria and reduces sulphide stress. *The ISME Journal*, 13: 707-719. <https://doi.org/10.1038/s41396-018-0308-5>
- Martin, S., R.R. Metalpa, E. Ransome, S. Rowley, M.C. Buia, J.P. Gattuso, & J. Hall-Spencer. 2008. Effects of naturally acidified seawater on seagrass calcareous epibionts. *Biology Letters*, 4: 689–692.

- <https://doi.org/10.1098/rsbl.2008.0412>
- McEnaney, R.A. 2019. Effects of reduced pH on health biomarkers of the seagrass *Cymodocea nodosa*. *DePaul Discoveries Undergraduate Research Journal*, 8(1): 1-9. <https://via.library.depaul.edu/depaul-disc>
- Mishra, A.K., S. Cabaço, C.B. de los Santos, E.T. Apostolaki, S. Vizzini, & R. Santos. 2020. Long-term effects of elevated CO₂ on the population dynamics of the seagrass *Cymodocea nodosa*: evidence from volcanic seeps. *Marine Pollution Bulletin*, 162: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111824>
- Pajusalu, L., G. Martin, A. Pollumae, & T. Paalme. 2016. The influence of CO₂ enrichment on net photosynthesis of seagrass *Zostera marina* in a brackish water environment. *Frontiers In Marine Science*, 3(239): 1-10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.0023>
- Paramitha, A., B. Utomo, & Desrita. 2014. Studi klorofil-a di kawasan Perairan Belawan Sumatera Utara. *Jurnal Aquacoastmarine*, 2(2): 106–118. <https://jurnal.usu.ac.id/index.php/aquacoastmarine/article/view/8827/0>
- Prayogo, B.P., F. Idris, & A.H. Nugraha. 2021. Pertumbuhan dan produksi biomassa lamun *Thalassia hemprichii* di pesisir Pulau Bintan. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 4(2): 425-434. <http://dx.doi.org/10.33387/jikk.v4i2.3882>
- Rahman, A.A., A.I. Nur, & M. Ramli. 2016. Studi laju pertumbuhan lamun (*Enhalus acoroides*) di perairan pantai Desa Tanjung Tiram Kabupaten Konawe Selatan. *Sapa laut*, 1(1): 10-16. <http://dx.doi.org/10.33772/jsl.v1i1.925>
- Ravaglioli, C., C. Lauritano, M.C. Buia, E. Balestri, A. Capocchi, D. Fontanini, G. Pardi, L. Tamburello, G. Procaccini, & F. Bulleri. 2017. Nutrient loading fosters seagrass productivity under ocean acidification. *Nature*, 7(13732): 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14075-8>
- Riniatsih, I. & H. Endrawati. 2013. Pertumbuhan lamun hasil transplantasi jenis *Cymodocea rotundata* Di Padang Lamun Teluk Awur Jepara. *Buletin Oseanografi Marina*, 2(1): 34-40. <https://doi.org/10.14710/buloma.v2i1.6924>
- Saba, G.K., A. Kaitlin, Goldsmith, R. Sarah, Cooley, D. Grosse, L. Shannon, A. Meseck, W. Miller, B. Phelan, M. Poach, R. Rheault, K. St. Laurent, J.M. Testa, J.S. Weis, R. Zimmerman. 2019. Recommended priorities for research on ecological impacts of ocean and coastal acidification in the U.S. Mid-Atlantic. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 225(1): 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.04.022>
- Santos, C.B.D.L., J.A. Godbold, & M. Solan. 2017. Short-term growth and biomechanical responses of the temperate seagrass *Cymodocea nodosa* to CO₂ enrichment. *Marine Ecology Progress Series*, 572: 91–102. <https://doi.org/10.3354/meps12153>
- Sarmiento, J.L. & N. Gruber. 2006. Ocean biogeochemical dynamics. Princeton University Press. New Jersey. 503 pp.
- Short, F.T. & C.M. Duarte. 2001. Methods for the measurement of seagrass and growth production. Di dalam: Short FT, Coles RG, editor. Global

- Seagrass Research Methods. *Elsevier Science*, 8: 155-182. <https://doi.org/10.1016/B978-044450891-1/50009-8>
- Short, F.T., B. Polidoro, S.R. Livingstone, K.E. Carpenter, S. Bandeira, J.S. Bujang, H.P. Calumpang, T.J.B. Carruthers, R.G. Coles, W.C. Dennison, P.L.A. Erftemeijer, M.D. Fortes, A.S. Freeman, T.G. Jagtap, A.H.M. Kamal, G.A. Kendrick, W.J. Kenworthy, Y.A. La Nafie, & J.C. Zieman. 2011. Extinction risk assessment of the world's seagrass species. *Biological Conservation*, 144(7): 1961–1971. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.04.010>
- Sjafrie, M.D.N., U.E. Hernawan, B. Prayudha, M.Y. Iswari, Rahmat, K. Anggraini, S. Rahmawati, Suyarso, & I.H. Supriyadi. 2018. Status pandang lamun Indonesia Ver. 02. LIPI. Jakarta.
- Suliyanto. 2012. Analisis statistik pendekatan praktis dengan Microsoft Excel. Andi offset. Yogyakarta. 232 pp.
- Takahashi, M., S.H.C. Noonan, K.E. Fabricius, & C.J. Collier. 2016. The effects of long-term in situ CO₂ enrichment on tropical seagrass communities at volcanic vents. *ICES Journal of Marine Science*, 73(3): 876–886. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv157>
- Zeebe, R.E. & D.A. Wolf-Gladrow. 2001. CO₂ in seawater: equilibrium, kinetics and isotopes. Elsevier Oceanography Series. Amsterdam 346 pp.
- Submitted* : 27 September 2022
Reviewed : 15 December 2022
Accepted : 18 April 2023

FIGURE AND TABLE TITLES

- Figure 1. Research design (completely randomized design).*
- Figure 2. The average value of salinity for 1 month of observation.*
- Figure 3. The average value of temperature for 1 month of observation.*
- Figure 4. The average growth rate of the leaves seagrass C. rotundata.*
- Figure 5. The average growth rate of the rhizoma seagrass C. rotundata.*
- Figure 6. The average growth rate of the roots seagrass C. rotundata.*
- Table 1. Average value of nitrate, phosphate and potassium content.*

