

Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada *Padina australis* di Pantai Sendang Biru Malang

Lead (Pb) Heavy Metals Content of Padina australis in Sendang Biru Malang Beach

Andini Rheina Saraswati*, Fida Rachmadiarti

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Surabaya

*e-mail: andinirheinas@gmail.com

Abstrak. Aktivitas laut yang tinggi di pantai Sendang Biru menjadi faktor utama yang memicu pencemaran logam Timbal (Pb). Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kadar logam berat timbal (Pb), klorofil, kadar protein serta menganalisis hubungan kadar logam berat timbal terhadap kadar protein *Padina australis*. Pengambilan sampel dilakukan di Pantai Sendang Biru pada 3 stasiun dengan jarak antar stasiun ± 1 km menggunakan metode *purposive sampling*. Analisis kadar logam Pb menggunakan AAS, kadar protein dianalisis menggunakan metode Kjeldahl. Data dianalisis korelasi Pearson untuk menganalisis hubungan antara kadar logam Pb dengan kadar protein *Padina australis*. Hasil penelitian menunjukkan kadar logam berat timbal berpengaruh terhadap kadar klorofil dan kadar protein *Padina australis*. Hasil analisis kadar logam Pb *Padina australis* yaitu $0,009 \pm 0,002 - 0,015 \pm 0,001$ mg/kg dan masih di bawah batas baku mutu KMN LH No.51 Tahun 2004. Kadar klorofil total berkisar $19,958 \pm 2,480 - 20,024 \pm 2,631$ mg/L serta kadar protein berkisar 1,61-2,11%. Korelasi antara kadar logam berat (Pb) dan kadar protein menunjukkan korelasi negatif yaitu semakin tinggi kadar logam yang terakumulasi pada *Padina australis* maka semakin rendah kadar protein.

Kata kunci: logam timbal; *Padina australis*; pantai sendang biru

Abstract. The high activity of marine on the Sendang Biru beach is a major factor that triggers lead metal pollution (Pb). The purpose of this study was to determine the content of heavy metal lead (Pb), chlorophyll, protein content and to analyze the relationship between heavy metal lead content and protein content *Padina australis*. Sampling was carried out at Sendang Biru Beach at 3 stations with a distance between stations of ± 1 km using a purposive sampling method. Pb analysis used AAS, protein content was analyzed using the Kjeldahl method. Data were analyzed by Pearson correlation to analyze the relationship between Pb metal content and protein content of *Padina australis*. The results showed that the levels of heavy metal lead (Pb) in the waters and *Padina australis* affected the chlorophyll content and protein content of *Padina australis*. The results of the analysis of Pb metal content in *Padina australis* $0.009 \pm 0.002 - 0.015 \pm 0.001$ mg /kg and still below the KMN LH No.51 of 2004 quality standard. Total chlorophyll levels ranged $19,958 \pm 2,480 - 20,024 \pm 2,631$ mg/L and protein content ranged 1.61-2.11%. The correlation between heavy metal content (Pb) and protein content showed a negative correlation, namely the higher the metal content accumulated in *Padina australis*, the lower the protein content.

Key words: lead metal; *Padina australis*; sendang biru beach

PENDAHULUAN

Kabupaten Malang terkenal dengan sumber daya alam yang melimpah disebabkan oleh tipologi pantainya yang berbatasan langsung dengan laut lepas sehingga mudah untuk dikembangkan dalam peningkatan sektor perekonomian maupun sektor pariwisata (Akbar dan Huda, 2017). Menurut Hermawan (2006) pantai Sendang Biru adalah salah satu pantai letaknya di Kecamatan Sumbermanjing Wetan Kabupaten Malang yang memiliki sumber daya alam melimpah sehingga berpotensi menjadi kawasan Industri Maritim dalam bidang Perikanan Terpadu yang didukung dengan letak pantai yang strategis dan keberadaan beragam jenis ikan pelagis besar yang bermigrasi di sekitar perairan pantai. Selain itu, keberadaan Pulau Sempu yang berfungsi sebagai pelindung alami pelabuhan dari gelombang sehingga perairan di pantai Sendang Biru cenderung tenang. Hal tersebut menguntungkan untuk tempat berlabuhnya kapal nelayan di Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Pondokdadap. Menurut Widiana dan Wikantiyoso, (2018) keberadaan Tempat Pelelangan Ikan (TPI) dan Pulau Sempu menjadi daya tarik cukup besar di kawasan Sendang Biru didukung

dengan adanya ekosistem pantai dengan pemandangan yang indah, ekosistem hutan, ekosistem mangrove, ekosistem danau, terumbu karang, serta rumput laut dalam upaya meningkatkan perekonomian dan meningkatkan potensi sektor pariwisata di kawasan pantai Sendang Biru (Handartoputra dkk., 2015). Melimpahnya sumber daya alam pantai Sendang Biru akan memicu potensi kerusakan lingkungan perairan yang ditandai dengan padatnya aktivitas manusia dan aktivitas laut seperti penggunaan kapal motor yang digunakan nelayan dan pengunjung sebagai fasilitas wisata yang ingin menyeberang ke Pulau Sempu (Ismadi, 2010). Banyaknya penggunaan kapal motor akan menyebabkan logam berat seperti Timbal (Pb) masuk ke perairan.

Logam berat Timbal yaitu bahan toksik murni yang pada umumnya digunakan dalam bidang industri untuk menstabilkan senyawa tertentu (Shannon dan Harper, 2007). Logam Pb dalam kehidupan sehari-hari dimanfaatkan di bidang pertambangan, peleburan, penggunaan bahan bakar minyak (Markowitz, 2010). Namun, dalam penggunaannya berpotensi menjadi bahan toksik jika terakumulasi dalam makhluk hidup. Penggunaan bahan bakar minyak untuk kapal motor di Sendang Biru dalam jumlah besar memungkinkan masuknya logam berat Pb ke perairan dan mempengaruhi kelangsungan hidup biota seperti rumput laut.

Rumput laut adalah sumber daya hayati bernilai ekonomi tinggi dan dimanfaatkan dalam industri pangan maupun non pangan seperti bidang farmasi dan kosmetik (Dwimayasanti, 2018). Rumput laut yang banyak dijumpai di pantai Sendang Biru yaitu *Padina australis*. Rumput laut ini berbentuk lembaran atau filamen lebar berwarna cokelat (Franklin dkk., 2017). *Padina australis* sering dimanfaatkan sebagai pakan ternak, suplemen, pupuk, dan antimikroba (Saloso dkk., 2011). Selain itu, keberadaan alginat dalam rumput laut cokelat digunakan dalam produk olahan seperti es krim, sari buah, salad, sayur untuk memperkuat tekstur (Anggadireja *et al.*, 2008). Kadar logam Pb yang terakumulasi pada rumput laut menimbulkan pengaruh pada berat molekul protein. Semakin tinggi kadar logam Pb yang terakumulasi maka semakin rendah kadar protein rumput laut. Timbal yang terkandung dalam rumput laut akan berikatan dengan gugus sulfhidril (-SH) dan menghambat terbentuknya enzim dan berdampak pada proses metabolisme (Yulaipi dan Aunurohim, 2013).

Dengan demikian perlu dilakukan pemantauan dalam menjamin keamanan konsumsi bahan pangan bagi masyarakat karena kajian keamanan pangan merupakan salah satu upaya dalam mengetahui ketahanan pangan (Kafiar *et al.*, 2013). Menurut Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) No. 5 Tahun 2018, kadar logam Timbal (Pb) yang diperbolehkan pada rumput laut yaitu sekitar 0,20 mg/kg. Berdasarkan penelitian Siahaan dkk., (2017) menunjukkan bahwa rumput laut *Padina australis* pada Perairan Teluk Totok mengandung logam Pb sebesar 3,8 ppm dan pada perairan Blongko sebesar 1,1 ppm. Hasil tersebut diketahui telah melampaui ambang batas baku mutu SNI No. 7387 Tahun 2009 yaitu sebesar 0,5 ppm. Penelitian Azizah dkk., (2018) menunjukkan adanya logam Pb sebesar 0,22-0,79 mg/kg yang terkandung dalam rumput laut *Sargassum* sp. yang ditemukan di Perairan Jepara. Hasil tersebut juga melampaui ambang batas baku mutu BPOM No. 23 Tahun 2017. Selain itu, menurut penelitian Supardi dan Nugroho (2019) yang memaparkan bahwa akumulasi logam Timbal (Pb) pada rumput laut *Padina australis* berkisar antara 0,0496-0,1388 ppm dan hasil tersebut telah melebihi ketentuan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 yaitu sebesar 0,008 ppm.

Berdasarkan pemaparan latar belakang di atas, penelitian mengenai analisis kandungan logam berat Timbal (Pb) terhadap rumput laut *Padina australis* di pantai Sendang Biru penting dilakukan mengingat manfaatnya serta tingginya konsumsi rumput laut oleh penduduk. Selain itu, penelitian ini diharapkan mampu menjadi sumber informasi mengenai logam berat Timbal yang terkandung dalam rumput laut *Padina australis* yang dimanfaatkan sebagai bahan pangan.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kadar logam Timbal (Pb), kadar protein, dan kadar klorofil pada rumput laut *Padina australis* serta untuk menganalisis korelasi hubungan antara kadar logam Pb terhadap kadar protein rumput laut *Padina australis*.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di pantai Sendang Biru Malang pada bulan Agustus 2020 hingga Januari 2021 dengan mengukur kadar logam berat Timbal (Pb) pada rumput laut *Padina australis*. Pengambilan sampel rumput laut menggunakan metode *purposive sampling*. Sasaran penelitian ini adalah nilai kadar logam berat Timbal (Pb), kadar protein, dan kadar klorofil yang terkandung dalam rumput laut *Padina australis*, parameter fisika dan kimia perairan pantai yang diukur diantaranya nilai pH, suhu, salinitas serta oksigen terlarut (DO) perairan pantai.

Penelitian ini menggunakan alat diantaranya termometer air raksa, refraktometer Atago S-28, pH meter, mortar dan alu, cawan porselen *haldenwager*, timbangan analitik, *ultrasonic bath*, *hotplate*, botol plastik sampel, gelas beaker, *coolbox*, *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS), oven serta mapada V-1100D spektrofotometer UV-Vis panjang gelombang 649 nm dan 665 nm. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan diantaranya larutan HNO₃, larutan HCL pekat, sampel air laut, sampel rumput laut *Padina australis*, aquades, air, kain kasa, kertas saring *whatman*, NaOH 1% serta larutan *alcohol* 95%.

Pengambilan sampel rumput laut *Padina australis* terbagi atas 3 stasiun berdasarkan adanya aktivitas laut seperti kapal bermotor sebagai salah satu fasilitas wisata dan milik nelayan yang berlabuh di dermaga. Jarak antar stasiun sekitar ±1 km. Stasiun I merupakan lokasi dengan aktivitas kapal bermotor yang paling rendah dan letaknya jauh dengan Tempat Pelelangan Ikan (TPI) dan dermaga yaitu sekitar ±3 km. Stasiun II merupakan lokasi aktivitas kapal bermotor sedang yaitu hanya terdapat kapal bermotor fasilitas wisata yang digunakan wisatawan untuk menyeberang ke pulau Sempu dan letaknya agak dekat dengan Tempat Pelelangan Ikan (TPI) dan dermaga yaitu sekitar ±2 km. Stasiun III merupakan lokasi dengan aktivitas kapal bermotor paling tinggi karena adanya kapal bermotor wisata dan milik nelayan dengan jumlah banyak serta lokasi yang sangat dekat dengan Tempat Pelelangan Ikan (TPI) dan dermaga yaitu sekitar ± 1 km.

Sampel *Padina australis* diambil dari ketiga stasiun pengambilan sampel dengan 3 kali pengulangan pada tiap stasiun yang diambil langsung dari substrat sebanyak 1 kg dengan tangan kemudian dicuci hingga bersih selanjutnya diletakkan dalam *cool box*. Sedangkan sampel air laut diambil menggunakan botol plastik sampel yang diambil dari kedalaman 0-30 cm pada tiap lokasi pengambilan rumput laut.

Analisis kadar logam berat Pb rumput laut *Padina australis* yaitu mencuci rumput laut hingga bersih kemudian sampel ditunggu kering hingga beratnya menjadi konstan. Lalu sampel ditumbuk hingga menjadi serbuk berwarna hitam kecoklatan dan ditimbang sebanyak 1 gram selanjutnya menambahkan campuran antara larutan HNO₃ dan HCL dengan perbandingan 3:1. Larutan campuran tersebut kemudian dilakukan proses pemecahan menggunakan alat *ultrasonic bath* dengan suhu 60°C selama 45 menit dilanjutkan menggunakan *hotplate* selama 45 menit dengan suhu 140°C. Setelah itu, disaring dan diperoleh filtrat yang kemudian diencerkan dengan aquades sebanyak 25 mL. Langkah terakhir yaitu larutan dianalisis menggunakan metode AAS (Siaka dkk., 2016).

Analisis kadar logam berat air laut dilakukan dengan memanaskan 50 mL air laut yang telah ditambahkan dengan HNO₃ sebanyak 1 mL hingga volume berkurang menjadi 20 mL. Kemudian menambahkan larutan aquades hingga 50 mL lalu dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring *whatman* dengan ukuran 40 dan dikocok selama 3 detik. Langkah selanjutnya dianalisis dengan metode AAS (Rizkiana dkk., 2017).

Analisis kadar protein yaitu mencuci sampel rumput laut hingga bersih lalu ditunggu mengering. Ditimbang sebanyak 5 gram dan dipotong kecil-kecil kemudian diletakkan dalam *beaker glass* serta ditambah aquades hingga terendam dan dibiarkan 24 jam. Lalu mencuci kembali sampel dan dimasukkan dalam *beaker glass* yang berisi aquades dan larutan NaOH 1%. Lalu sampel dipanaskan dengan suhu sebesar 70-90°C hingga teksturnya menjadi gel. Selanjutnya, sampel rumput laut disaring menggunakan kain kasa dimasukkan *beaker glass* yang berisi larutan alkohol 96% hingga sampel terendam dan dibiarkan selama 24 jam. Terakhir, ekstrak protein dari sampel rumput laut ditiriskan dan diletakkan dalam oven dengan suhu 60°C selama 4 jam (Basiroh dkk., 2016).

Analisis kadar klorofil yaitu sampel rumput laut ditimbang sebanyak 1 gram dan dihaluskan dengan mortar dan alu. Sampel tersebut diekstraksi menggunakan alkohol 95% hingga warna klorofil pada rumput laut terlarut. Lalu larutan disaring dengan kertas saring dan siap diukur kandungan klorofilnya menggunakan spektrofotometer dengan gelombang 649 nm dan 665 nm. Sebelum menghitung jumlah kandungan klorofil pada rumput laut, alat spektrofotometer di kalibrasi terlebih dahulu dengan mengatur pelarut sampel alkohol 95% kemudian pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan dan nilai absorbansi akan dihitung menggunakan persamaan dan diperoleh nilai rata-ratanya. Setelah nilai absorbansi diperoleh, kemudian nilai tersebut dihitung menggunakan rumus Wintermans & de Mots.

Klorofil a dengan satuan (mg/L) = 13,7 OD665 - 5,76 OD649

Klorofil b dengan satuan (mg/L) = 25,8 OD649 - 7,7 OD665

Klorofil total dengan satuan (mg/L) 20,0 OD649 + 6,1 OD665 (Banyu dkk., 2013).

Data yang diperoleh berupa kadar logam Pb dan kadar protein pada rumput laut *Padina australis* yang kemudian dianalisis statistik korelasi Pearson dua sampel untuk mengetahui korelasi antara kadar logam Pb terhadap kadar protein rumput laut *Padina australis*. Selain itu, data

pendukung parameter fisika dan kimia berupa nilai suhu, salinitas, pH, serta oksigen terlarut yang dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan perbandingan mutu kualitas perairan berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: 51 Tahun 2004 dan Keputusan Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan No. 5 Tahun 2018 mengenai ambang batas kualitas mutu maksimal terhadap cemaran logam Timbal (Pb) bahan pangan.

HASIL

Berdasarkan uji kadar logam Timbal (Pb) rumput laut *Padina australis* di pantai Sendang Biru menunjukkan hasil bahwa akumulasi logam berat Pb *Padina australis* mempengaruhi kadar protein yang terkandung dalam rumput laut. Kadar logam berat Timbal (Pb) juga mempengaruhi kadar klorofil rumput laut *Padina australis*. Berdasarkan uji korelasi Pearson menunjukkan kadar logam Pb dan kadar protein *Padina australis* berkorelasi negatif artinya semakin tinggi kadar logam yang terakumulasi pada *Padina australis* maka semakin rendah kadar kadar protein. Hasil dapat dilihat pada Tabel 1-5. Data kadar logam Pb *Padina australis* yang ditemukan di pantai Sendang Biru berturut-turut sebesar 0,009±0,002 mg/kg, 0,012±0,002 mg/kg, 0,015±0,001 mg/kg. Kadar logam Pb pada rumput laut *Padina australis* masih di bawah ambang baku mutu yaitu 0,02 mg/kg.

Tabel 1. Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Rumput Laut *Padina australis* di Pantai Sendang Biru Malang

Pengulangan	Kadar Timbal (Pb) pada Stasiun (mg/kg)			Rata-Rata ± SD	Baku Mutu (mg/kg)
	I	II	III		
1	0,009	0,013	0,015	0,009±0,002	
2	0,012	0,009	0,014	0,012±0,002	0,02
3	0,008	0,014	0,016	0,015±0,001	

Data kadar logam Pb *Padina australis* yang ditemukan di pantai Sendang Biru berturut-turut sebesar 0,009±0,002 mg/kg, 0,012±0,002 mg/kg, 0,015±0,001 mg/kg. Kadar logam Pb pada rumput laut *Padina australis* masih di bawah ambang baku mutu yaitu 0,02 mg/kg.

Tabel 2. Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Perairan Sendang Biru Malang

Stasiun	Kadar Timbal (Pb) (mg/kg)	Baku Mutu (mg/kg)
I	0,044	
II	0,036	0,008
III	0,041	

Kadar logam Pb perairan pantai Sendang Biru yaitu 0,044 mg/kg, 0,036 mg/kg, 0,041 mg/kg. Kadar logam Pb perairan Sendang Biru sudah melebihi batas ambang baku mutu yaitu 0,008 mg/kg.

Tabel 3. Kadar Klorofil Rumput Laut *Padina australis* di Pantai Sendang Biru Malang

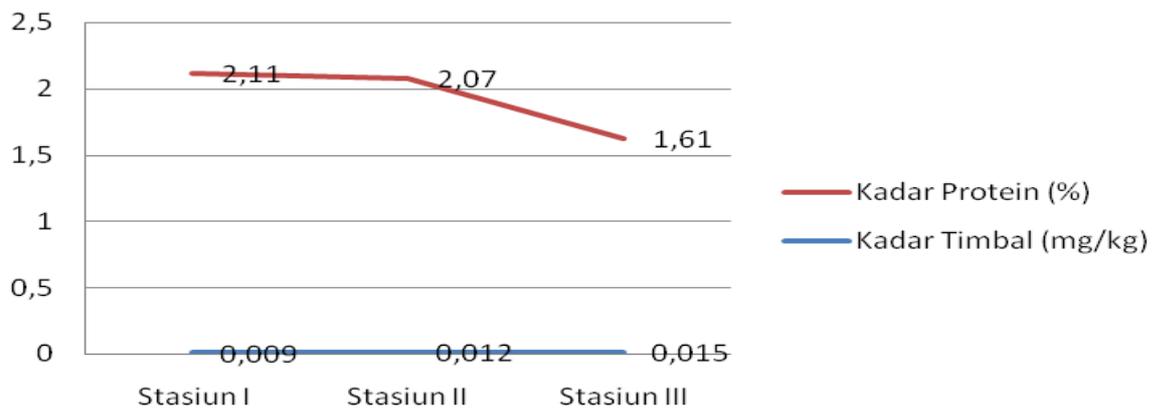
Stasiun	Pengulangan	Kadar Klorofil a (mg/L)	Kadar Klorofil b (mg/L)	Kadar Klorofil Total (mg/L)
I	1	8,123	8,718	16,993
	2	12,706	8,563	21,362
	3	11,783	9,848	21,719
Rata-rata (± SD)		10,900±2,424	9,043±0,701	20,024±2,631
II	1	8,235	8,279	17,025
	2	12,753	8,829	21,677
	3	11,250	10,035	21,367
Rata-rata (± SD)		10,746±2,300	9,197±0,898	20,023±2,600
III	1	8,259	8,783	17,103
	2	12,724	8,731	21,190
	3	11,375	10,123	21,582
Rata-rata (± SD)		10,786±2,290	9,092±0,789	19,958±2,480

Rata-rata kadar klorofil a, klorofil b, dan klorofil total tertinggi terdapat pada stasiun I sebesar 10,900 mg/L, 9,043 mg/L, dan 20,024 mg/L. Sedangkan nilai rata-rata kadar klorofil a, klorofil b, dan klorofil total terendah terdapat pada stasiun III sebesar 10,786 mg/L, 9,092, dan 19,958 mg/L. Kadar logam Pb yang terakumulasi pada *Padina australis* berpengaruh terhadap kadar klorofil *Padina australis*.

Kadar protein rumput laut *Padina australis* tertinggi terdapat pada stasiun I sebesar 2,11%. Sedangkan kadar protein rumput laut *Padina australis* terendah terdapat pada stasiun III sebesar 1,61%. Kadar logam Pb yang terakumulasi pada rumput laut *Padina australis* berpengaruh terhadap kadar protein rumput laut *Padina australis*.

Tabel 4. Kadar Protein Rumput Laut *Padina australis* di Pantai Sendang Biru Malang

Stasiun	Kadar Protein (%)
I	2,11
II	2,07
III	1,61



Gambar 1. Hubungan Kadar Logam Berat Timbal (Pb) terhadap Kadar Protein Rumput Laut *Padina australis* di Pantai Sendang Biru Malang

Berdasarkan hasil uji statistika korelasi Pearson menunjukkan nilai signifikan (2-tailed) yaitu sebesar 0,287 dengan korelasi sebesar -0,900 sehingga dapat disimpulkan bahwa kadar logam berat Pb dan kadar protein memiliki hubungan korelasi negatif yang artinya semakin tinggi kadar logam yang terakumulasi pada *Padina australis* maka semakin rendah kadar protein.

Tabel 5. Parameter Fisika dan Kimia Lingkungan Perairan Pantai Sendang Biru Malang

Stasiun	Suhu (°C)	pH	DO (mg/L)	Salinitas (ppt)
I	31,33±1,154	7,98±0,043	1,6±2,719	24,33±0,577
II	31±1	7,98±0,005	1,2±0,2	21,33±1,527
III	30,33±0,577	7,93±0,01	0,9±0	17±2
Baku Mutu	28-30	7-8,5	>5	33-34

Hasil pengukuran parameter fisika dan kimia perairan Sendang Biru menunjukkan bahwa suhu berkisar antara 30,33°C-31,33°C. Hasil tersebut menunjukkan bahwa suhu di perairan pantai Sendang Biru melebihi batas baku mutu yaitu 28-30°C. Data pH perairan Sendang Biru berkisar antara 7,93-7,98. Nilai pH tersebut mengindikasikan bahwa pH di perairan Sendang Biru masih dalam batas baku mutu dan masih aman untuk mendukung kehidupan biota serta rumput laut. Oksigen terlarut perairan Sendang Biru berkisar antara 0,9mg/L-1,6mg/L. Oksigen terlarut menunjukkan perairan Sendang Biru berada jauh di bawah ambang batas baku mutu yakni >5 mg/L. Salinitas perairan Sendang Biru perairan Sendang Biru berkisar antara 24,33 ppt dan 17 ppt. Salinitas di perairan Sendang Biru berada di bawah batas baku mutu yaitu 33-34 ppt.

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditunjukkan yaitu tingginya kadar logam Timbal (Pb) berpengaruh terhadap kadar protein dan kadar klorofil pada rumput laut *Padina australis*. Rumput laut *Padina australis* pantai Sendang Biru Malang pada stasiun III memiliki kadar logam Pb paling tinggi yaitu 0,015 mg/kg. Dan nilai kadar protein dan kadar klorofil rumput laut *Padina australis* paling rendah berturut-turut yaitu 1,61% dan 9,092mg/L. Kadar logam berat Pb pada perairan Pantai Sendang Biru telah melampaui baku mutu KMNHLH No. 51 tahun 2004. Perairan pantai memiliki kadar logam Pb cenderung tinggi disebabkan banyaknya aktivitas laut serta penggunaan bahan bakar minyak kapal bermotor yang memicu pencemaran logam berat di perairan sekitarnya. Padatnya

aktivitas manusia di sekitarnya menjadikan kadar logam Pb di perairan sekitar dermaga maupun pelabuhan (Ma'rifah dkk., 2016). Buangan air *ballast* kapal serta emisi gas bahan bakar minyak mesin mampu menjadi sumber penyebab masuknya logam Pb ke perairan. Selain itu, ditemukannya kadar logam berat Timbal (Pb) dalam perairan juga disebabkan karena peristiwa alam yakni melalui proses pengkristalan logam Timbal dengan bantuan air hujan di udara serta peristiwa korofikasi dari batuan mineral (Rahmadani dkk., 2015). Kemampuan rumput laut *Padina australis* dalam menyerap logam Pb menjadi bukti bahwa proses penyerapan telah terjadi pada rumput laut sehingga semakin tinggi kadar logamnya maka semakin tinggi pula penyerapan logam oleh *Padina australis*.

Padina australis merupakan golongan alga cokelat (Phaeophyta) yang tergolong genus *Padina*. Pada umumnya banyak ditemukan di sekitar genangan air menempel di atas batu karang pantai dengan alat perekat yang terdiri atas cakram pipih biasanya terbagi menjadi cuping-cuping putih. Morfologi *Padina australis* pada umumnya berupa lembaran atau filamen seperti kipas dengan diameter 3-4 cm dan berwarna coklat transparan kekuningan namun juga terkadang memutih akibat pengapuran (Subagio dan Kasim, 2019). Rumput laut *Padina australis* memiliki nilai ekonomi dikarenakan dapat dijadikan sebagai pakan ternak, suplemen, pupuk antimikroba serta sebagai penghasil karaginan dan alginat (Saloso dkk., 2015). Phaeophyta terbukti efektif dalam pemantauan dan penyerapan logam (Lee & Park, 2012). Kandungan alginat dan karboksilat dengan kepadatan tinggi terbukti sebagai pendukung Phaeophyta dalam menyerap logam berat. *Padina australis* mengandung logam Pb disebabkan pada bagian thallusnya seluruhnya terendam di perairan sehingga seluruh bagian thallus *Padina australis* mampu menyerap logam berat. Namun, di penelitian ini, didapatkan hasil bahwa kemampuan penyerapan logam Pb oleh *Padina australis* tergolong rendah. Hal tersebut dikarenakan morfologi genus *Padina* sebagian besar hanya berupa lembaran dan banyak ditempeli kalsium sehingga warnanya menjadi cokelat keputih-putihan dan hal tersebut yang menyebabkan proses penyerapan logam juga rendah (Taylor, 1979). Selain itu, penyerapan logam oleh rumput laut *Padina australis* tergolong rendah disebabkan tidak semua ion logam dapat diserap oleh tanaman termasuk rumput laut dan terdapat konsentrasi tertentu yang masih mampu ditoleransi oleh rumput laut (Riska dkk., 2019).

Pada umumnya kemampuan penyerapan logam berat oleh tanaman air yaitu dengan menyimpan pada bagian tanaman tersebut termasuk rumput laut. Logam berat yang masuk ke tanaman dapat berikatan dengan polisakarida dan sebelum menuju ke sitoplasma, ion logam akan menembus dinding sel serta membran sel. Dinding sel merupakan pertahanan sel yang utama untuk mencegah masuknya ion logam yang bersifat toksik (Purnamawati dkk., 2015). Organel tanaman yang mengandung ion logam dapat berikatan dengan *fitochelatin* kemudian ditranspor menuju vakuola dalam upaya mengurangi efek toksisitas logam. Proses akumulasi bahan logam toksik diantaranya akan dipecah, dieksresikan, disimpan maupun digunakan dalam proses metabolisme bergantung pada konsentrasi ion logam dan potensial kimianya (Yulianto dkk., 2018). Hal ini didukung oleh Hidayati dkk., (2017) yang menyebutkan bahwa logam berat yang masuk terdapat di habitat akan memicu tanaman termasuk rumput laut untuk melakukan perubahan pada struktur tubuhnya dengan cara melakukan proses sintesis terhadap protein spesifik seperti *fitochelatin* yang memiliki kemampuan dalam detoksifikasi ion logam. Penyerapan logam berat pada rumput laut disebabkan oleh kecenderungan ion logam yang mengikat berbagai molekul pada sel suatu organisme serta kemungkinan berhubungan dengan peran rumput laut dalam rantai makanan. Rumput laut berperan dalam siklus biogeokimia logam berat di daerah pesisir sehingga berpengaruh terhadap penyerapan logam (Elderwish, 2020). Selain itu, faktor yang menyebabkan tinggi rendahnya penyerapan logam oleh rumput laut dapat disebabkan oleh lingkungan seperti sedimen, air, dan karakteristik rumput laut yang memiliki daya serap (bioakumulasi). Penyerapan logam secara terus menerus akan menyebabkan adanya penurunan kemampuan akumulasi pada rumput laut karena mempengaruhi kondisi fisiologis dari rumput laut sehingga metabolisme menurun dan menyebabkan kerusakan anatomi (Pratiwi *et al.*, 2019).

Aktivitas laut kapal bermotor dan letak lokasi yang berdekatan dengan dermaga menyebabkan kadar klorofil pada rumput laut *Padina australis* stasiun III tergolong paling rendah. Pigmen karotenoid fukosantin yang lebih dominan menjadi penyebab warna rumput laut *Padina australis* berwarna cokelat (Kailola dkk., 2012). Pigmen klorofil yang mendukung rumput laut dalam upaya pertahanan diri terhadap keberadaan lingkungan tercemar adalah klorofil a (Siahaan dkk., 2017). Menurut Oaten *et al.*, (2017) Pb terbukti berpengaruh terhadap efisiensi fotosintesis dan pertumbuhan rumput laut cokelat. Menurut Lobban dan Harrison, (1994) logam berat dapat terakumulasi disebabkan keberadaan polisakarida di dinding sel yang mengikat logam sehingga

senyawa kompleks dapat terbentuk bersamaan dengan zat organik pada thallus rumput laut. Ion logam yang terserap akan masuk ke dalam sel rumput laut melalui lapisan lipid. Hal tersebut dapat mengindikasikan apabila logam berat yang terikat di dinding sel semakin banyak maka logam yang dapat masuk ke dalam sel rumput laut juga semakin banyak (Andhini, 2011). Dalam pembentukan klorofil pada rumput laut memerlukan nutrisi Mg dan N. Oleh karena itu, apabila dalam sel rumput laut terdapat logam berat yang terakumulasi maka akan menyebabkan turunnya nutrisi Mn sehingga dapat mengganggu pembentukan klorofil. Selain itu, akumulasi logam Pb yang tinggi secara langsung dengan jumlah yang berlebihan mampu mengurangi nutrisi Mn yang kemudian akan berpengaruh terhadap jumlah dan volume kloroplas (Kholifah dan Rachmadiarti, 2019). Stevanus dkk., (2015) mengutarakan unsur mineral Mn dibutuhkan pada peristiwa fotosintesis dalam pembentukan klorofil. Selain itu, menurut Rachmadiarti dan Trimulyono (2019) proses metabolisme seperti proses fotosintesis dapat dihambat oleh adanya keberadaan logam Pb yang terakumulasi oleh tanaman air yang berakibat pada terhambatnya proses pertumbuhan dan perbanyakan sel.

Hasil analisis kadar protein tertinggi terdapat pada rumput laut *Padina australis* di stasiun I yaitu sebesar 2,11%, sedangkan kadar protein terendah terdapat pada stasiun III yakni sebesar 1,61%. Protein merupakan getah rumput laut pada spesies tertentu yang memiliki fungsi sebagai pengental, pengemulsi, pensuspensi serta faktor penstabil (Ega, 2016). Kadar protein dalam rumput laut pada umumnya lebih tinggi jika dibandingkan dengan sayuran lokal. Hal tersebut menandakan bahwa potensi rumput laut sangat baik untuk dijadikan sebagai sumber makanan dan sebagai faktor yang menentukan pemanfaatannya sebagai bahan makanan tambahan atau suplemen karena kadar proteinnya yang tinggi. Namun, kadar protein rumput laut bergantung pada jenis dan periode musim (Handayani, 2006). Masuknya logam berat Timbal (Pb) dalam rumput laut dapat mempengaruhi proses metabolisme sehingga menimbulkan gangguan pada proses fotosintesis dan mempengaruhi produktifitas pertumbuhan rumput laut serta berat protein. Menurut Izza dkk., (2016) logam yang masuk dalam tubuh suatu organisme makhluk hidup akan diikat oleh protein. Selain itu, keberadaan polisakarida, protein, dan lipid berupa sulfat, asam amino, karboksil serta hidroksil pada dinding sel dapat mendukung rumput laut dalam mengabsorpsi logam (Ibrahim dkk., 2012).

Hasil analisis uji statistika korelasi Pearson, menunjukkan bahwa adanya korelasi negatif dimana semakin tinggi kadar logam yang terakumulasi pada rumput laut *Padina australis* maka semakin rendah kadar protein. Dalam penelitian ini membuktikan bahwa kadar logam Timbal (Pb) berpengaruh terhadap kadar protein rumput laut *Padina australis*. Ion logam Pb yang terakumulasi pada rumput laut melalui dinding sel mekanismenya yaitu protein dan polisakarida akan mengikat ion logam kemudian ion logam masuk dan berubah bentuk Pb^{2+} menjadi senyawa yang non toksik. Namun, ion logam tersebut dapat berubah menjadi senyawa toksik apabila masuk ke bagian sel yang lainnya. Timbal (Pb) dapat masuk ke dalam *Padina australis* karena adanya senyawa yang berada di dalam sel *Padina australis* yang mampu menyerap ion logam. Menurut Surahman (2011) rumput laut memiliki dinding sel yang gugus fungsinya dapat berikatan dengan logam. Secara umum, logam berat masuk ke lingkungan dan tidak secara langsung larut dalam air. Melainkan terdapat senyawa polipeptida yakni fitokelatin dan metallothionein yang mampu mengikat logam (Purwaningsih, 2005). Metallothionein adalah protein pengikat logam di dalam jaringan setiap makhluk hidup yang dikenal sebagai penanda biologis yaitu sebuah peringatan dini terhadap keberadaan logam berat (Dewi, 2014). Apabila ion logam terakumulasi dalam tubuh biota perairan termasuk rumput laut dan nantinya rumput laut tersebut dimanfaatkan sebagai bahan pangan oleh manusia maka akan memberikan dampak buruk bagi manusia karena akibat dari masuknya ion logam ke tubuh dapat menimbulkan efek keracunan bahkan penyakit. Efek toksisitas akibat logam Pb yang terakumulasi dalam tubuh dapat menyebabkan kerusakan ginjal, penghambatan sintesis hemoglobin, mempengaruhi sistem kardiovaskular serta sistem reproduksi (Rachmadiarti *et al.*, 2012).

Suhu, pH, salinitas serta oksigen terlarut (DO) juga berpengaruh terhadap kadar logam Pb di perairan dan rumput laut *Padina australis*. Hasil pengukuran suhu perairan pantai Sendang Biru Malang cenderung normal meskipun sedikit melebihi batas baku mutu. Namun, pada sampel air laut yang dilakukan pengukuran suhu pada Stasiun III menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan lainnya. Menurut Sari dkk., (2016) suhu yang rendah membuat ion logam tidak dapat larut di dalam air sehingga mengendap di dasar perairan. Suhu yang rendah diikuti dengan salinitas yang rendah. Apabila nilai salinitas di suatu perairan rendah dapat diindikasikan telah terjadi proses desalinisasi yang meningkatkan akumulasi logam berat di perairan (Yudiati dkk., 2009). Nilai pH perairan Pantai Sendang biru masih mendukung kehidupan biota laut termasuk rumput laut.

Menurut Ismarti dkk., (2016) pH tinggi pada air laut menyebabkan proses pengendapan logam di perairan menjadi tinggi.

Tinggi rendahnya kadar logam Pb di perairan Sendang Biru juga dipengaruhi oleh oksigen terlarut (DO). Nilai oksigen terlarut pada perairan Sendang Biru tergolong rendah. Rendahnya oksigen terlarut menyebabkan terjadinya peningkatan kadar logam berat. Menurut Abidin (2016) apabila nilai oksigen terlarut rendah maka tingkat toksisitas logam semakin tinggi dan begitupun sebaliknya.

Logam berat Pb di perairan menimbulkan permasalahan lingkungan yakni dapat membuat perairan menjadi tercemar dan membahayakan kehidupan rumput laut *Padina australis* dan biota perairan lainnya. Terserapnya logam Pb terbukti menimbulkan dampak buruk terhadap pertumbuhan rumput laut karena berhubungan dengan proses metabolisme seperti proses fotosintesis serta penurunan berat molekul proteinnya. Menurut Eder *et. al.*, (2012) yang berpendapat bahwa penyerapan logam memicu terjadinya proses degenerasi protein *picobilin*, tilakoid, dan klorofil a yang berdampak pada penurunan berat molekul protein serta terhambatnya proses fotosintesis. Logam Pb mampu merusak kloroplas sehingga proses fotosintesis terhambat. Apabila proses fotosintesis terganggu maka kemampuan sel dalam memperbanyak diri akan berkurang dan tentu hal tersebut berdampak pada produktifitas dan pertumbuhan rumput laut yang akan menurun (Pranajaya dkk., 2014).

Dalam penelitian ini meskipun rumput laut *Padina australis* memiliki kemampuan akumulasi yang rendah bukan berarti permasalahan ini akan dibiarkan begitu saja karena ion logam bersifat akumulatif dan terus mengendap di dasar perairan sehingga apabila dibiarkan secara terus menerus akan berakibat fatal bagi biota perairan dan makhluk hidup yang mengonsumsi bahan makanan yang terakumulasi ion logam terlebih logam Timbal (Pb) karena akan menimbulkan efek racun yang berbahaya.

SIMPULAN

Simpulan penelitian ini adalah kadar logam Timbal (Pb) *Padina australis* yang ditemukan di Pantai Sendang Biru berkisar antara 0,0009-0,0015 mg/kg dan hasil tersebut masih dikategorikan aman untuk dikonsumsi. Kadar klorofil *Padina australis* yaitu antara 19,958-20,024 mg/L. Kadar protein pada rumput laut *Padina australis* yaitu berkisar 1,61-2,11%. Hubungan antara kadar logam (Pb) dan kadar protein rumput laut *Padina australis* berkorelasi negatif yaitu semakin tinggi kadar logam yang terakumulasi pada rumput laut *Padina australis* maka semakin rendah kadar proteinnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin F, Werorilangi S, Tambaru R. 2016. Biokonsentrasi Fleshy Macroalgae Terhadap Logam Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) di Pulau Bonebatang, Barranglompo dan Lae-Lae Cad di Kota Makassar. *J. Rumput Laut Indonesia*, Vol. 1 (1): 8-16.
- Akbar T, Huda M. 2017. Nelayan Lingkungan dan Perubahan Iklim (Studi terhadap Kondisi Sosial Ekonomi Pesisir di kabupaten Malang). *Jurnal WAHANA*, Vol. 68 (1): 27-38.
- Andhini HA. 2011. *Pengaruh Logam Berat Pb terhadap Profil Protein Alga Merah (Gracillaria sp.)*. Tugas Akhir. Surabaya: Institut Sepuluh November Surabaya.
- Anggadiredja JT, Zatriska A, Purwoto H, Istini S, 2008. *Rumput Laut: Pembudidayaan, Pengolahan, & Pemasaran Komoditas Perikanan Potensial*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Azizah R, Malau R, Susanto AB, Santosa GW, Hartati R, Irwani S, 2018. Kandungan Timbal Pada Air, Sedimen, Dan Rumput laut *Sargassum sp.* Di Perairan Jepara, Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, Vol. 21 (2): 155-166.
- Banyu EY, Song Ai Nio, Siahaan P, Tangapo MA, 2013. Konsentrasi Klorofil Daun Padi Pada Saat Kekurangan Air Yang Diinduksi Dengan Polietilen Glikol. *Jurnal Ilmiah Sains*, Vol. 13 (1): 1-8.
- Basiroh S, 2016. *Pengaruh Periode Panen Yang Berbeda Terhadap Kualitas Karaginan Rumput Laut *Kappaphycus Alvarezii* Kajian Rendemen Dan Organoleptik Karaginan*. Jurusan Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia.
- Dewi NK, Purwanto, Sunoko HK, 2014. Metallothionein Pada Hati Ikan Sebagai Biomarker Pencemaran Kadmium (Cd) di Perairan Kaligarang Semarang. *Jurnal Manusi dan Lingkungan*, Vol. 21 (3).
- Dwimayasanti R, Kurnianto D, 2018. Komunitas Makroalga di Perairan Tayando-Tam, Maluku Tenggara Community of Macroalgae in Tayando-Tam Waters, Southeast Maluku. *Jurnal Oseanologi dan Limnologi*, Vol. 3 (1): 39-48.
- Eder CS, Roberta de PM, Alexandra L, Marcelo M, Paulo AH, Zenilda LB, 2012. Effects of Cadmium on Growth, Photosynthetic Pigments, Photosynthetic Performance, Biochemical Parameters and Structure of Chloroplasts in the Agarophyte *Gracilaria Domingensis* (Rhodophyta, Gracilariales). *American Journal of Plant Sciences*, (3): 1077-1084.

- Elderwish NMA, 2020. Seasonal Accumulation of Heavy Metal in Marine Brown Algae (Phaeophyta) in the Kastamonu Coasts (Turkey). *International Journal of Medical Evaluation and Physical Report*, Vol. 4 (1): 14-33.
- Franklin RK, Gaspar DM, Fransine BM, 2017. Pertumbuhan Alga Coklat *Padina australis* di Perairan Pesisir Desa Serei, Kecamatan Likupang Barat, Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Ilmiah Platax*, Vol. 15 (2): 243-253.
- Handartoputra A, Purwanti F, Hendrarto, B, 2015. Penilaian Kerentanan Pantai di Sendang Biru Kabupaten Malang Terhadap Variabel Oceanografi Berdasarkan Metode CVI (*Coastal Vulnerability Index*). *Diponegoro Journal of Maquares*, Vol. 4 (1): 91-97.
- Handayani T, 2006. Protein pada Rumput Laut. *Oseana*, Vol. XXXI (4): 23-30.
- Hermawan D, 2006. Prospektif Pengembangan Kawasan Pesisir Sendang Biru Untuk Industri Perikanan Terpadu. *Jurnal Prospektif Pengembangan Kawasan Sendang Biru*, Vol. 13 (2).
- Hidayati RK, Rachmadiarti F, Rahayu YS, 2017. Profil Protein Semanggi Air (*Marsilea crenata*) yang Ditanam pada Kombinasi Media Tanam Lumpur Lapindo dan Tanah Alfisol. *Jurnal LenteraBio*, Vol. 6 (1): 16-22.
- Ibrahim B, Sukarsa DR, Aryanti L, 2012. Pemanfaatan Rumput Laut *Sargassum* Sp. Sebagai Adsorben Limbah Cair Industri Rumah Tangga Perikanan. *Jurnal Ilmu Perairan*, Vol. 15 (1): 52-58.
- Ismadi, 2010. "Studi Dampak Nelayan Andon Dan Perubahan Sosial Pada Masyarakat Nelayan Desa Tambakrejo, Kecamatan Sumber Manjing Wetan, Kab.Malang". *Disertasi*. Malang (ID): Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.
- Ismiarti D, Fitrah A, Ramses F, 2016. *Kandungan Logam Berat Pb dan Cd pada Sedimen dan Kerang di Perairan Batam*. DIMENSI 4.3.
- Izza A, Hidayat N, Mulyadi AF, 2016. *Penurunan Kandungan Timbal (Pb) pada Kupang Merah (Musculitis senhausia) dengan Perebusan Asam pada Kajian Jenis dan Konsentrasi Asam*. Alumni Jurusan Teknologi Industri Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Brawijaya, Malang.
- Kafiar FP, Setyono P, Ari RH, 2013. Analisis Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) pada Sapi Potong di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Putri Cempo Surakarta. *Jurnal Ekosains*, Vol. 5 (2):32-39.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2004. *Baku Mutu Air Laut*.
- Kholifah N, Rachmadiarti F, 2019. Pemanfaatan *Salvinia minima* sebagai Penyerap Logam Berat Timbal (Pb) pada Berbagai Konsentrasi Pb. *Jurnal LenteraBio*, Vol. 8 (3): 237-242.
- Kailola IN, Susanto B, Prasetyo, Indriatmoko L, Limantara, Brotsudarmo THP, 2012. "Pengaruh Beberapa Metode Pengeringan pada Komposisi Pigmen dan Kandungan Trans-Fukosantin Rumput laut Cokelat *Padina australis*". Prosiding Seminar Karotenoid, Antioksidan dan Flavor Tanggal 11-12 Mei 2012, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga.
- Lee SH, Park CH, 2012. Biosorption of Heavy Metal Ions by Brown Seaweeds from Southern Coast of Korea. *Biotechnol Bioprocess Eng*, Vol. 17: 853-861.
- Lobban CS, Harrison PJ, 1994. *Seaweed ecology and physiology*. Cambridge University Press.
- Ma'rifah DS, Aris A, Romadhon, 2016. "Karakteristik dan Pengaruh Arus terhadap Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Sedimen di Perairan Kalianget Kabupaten Sumenep". Prosiding Seminar Nasional Kelautan. 82-88.
- Markowitz M, 2010. *Lead Poisoning*. Nelson Textbook of Pediatrics. 18th Edition. Philadelphia: Saunders 2913-7.
- Oaten JFP, Gibson MC, Hudson MD, Jensen AC, Williams ID, 2017. Metal Accumulation and Methallothionein Response in *Fucus spilaris*. *International Journal of Environmental Pollution and Remediation*, Vol. 5: 1-14.
- Pranajaya RH, Djunaedi A, Yulianto B, 2014. Pengaruh Tembaga terhadap Kandungan Pigmen dan Pertumbuhan Mikroalga Merah *Porphyridium cruentum*. *Jurnal Ilmu Kelautan*, Vol. 19 (2): 97-104.
- Pratiwi KAD, Sahidu AM, Kusdarwati R, 2019. Heavy Metal s of Lead (Pb) Accumulation in Seaweed (*Gracilaria* sp.) Cultivation and Ecosystem Around the Industrial Waste Disposal River. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, Vol. 10 (5): 396-403.
- Purnamawati FS, Soeprobawati TR, Izzati M, 2015. Potensi *Chlorolla vulgaris* Beijerinck Dalam Remediasi Logam Berat Cd dan Pbb Skala Laboratorium. *Jurnal Bioma*, Vol. 16 (2): 102-113.
- Purwaningsih D, 2005. "Proses Biosorpsi dengan Menggunakan Mikroorganisme Sebagai Salah Satu Alternatif *Bioremoval* Logam Berat dan Lingkungan Tercemar". Prodisiding Semnas Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, FMIPA UNY, Yogyakarta.
- Rachmadiarti F, Soehono LA, Utomo WH, Yanuwiyadi B, Fllowfield W, 2012. Resistance of Yellow Velvetleaf (*Limnocharis flava* (L.) Buch). Exposed to Lead. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, Vol. 2 (6): 210-215.
- Rachmadiarti F, Trimulyono G, 2019. Phytoremediation Capability on Water Clover (*Marsilea crenata* (L.). Presl.) in Synthetic Pb Solution. *Applied Ecology and Environmental Research*, Vol. 17 (4): 9609-9619.
- Rahmadani T, Sabang SM, Said I, 2015. Analisis Kandungan Logam Zinc (Zn) dan Timbal (Pb) Dalam Air Laut Pesisir Pantai Mamboro Kecamatan Palu Utara. *Jurnal Akad Kimia*, Vol. 4 (4): 197-203.
- Riska N, Suedy ASW, Izzati M, 2019. Kandungan Mineral dan Logam Berat pada *Biosalt* Rumput Laut *Padina* sp. *Jurnal Pro-life*, Vol. 6 (2): 171-179.
- Rizkiana L, Karina S, Nurfadillah, 2017. Analisis Timbal (Pb) pada Sedimen dan Air Laut di Kawasan Pelabuhan Nelayan Gampong Deah Glumpang Kota Banda Aceh. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Ilmu Kelautan dan Perikanan Unsiyah*, Vol. 2 (1): 89-96.

- Salosso YA, Prajitno AL, Abadi, Aulanni'am, 2011. Kajian Potensi *Padina australis* Sebagai Antibakteri Alami Dalam Pengendalian Bakteri *Vibrio alginolisticus* Pada Budidaya Ikan Kerapu Tikus (*Cromeleptus altivelis*). *Jurnal Bahan Alam Indonesia*, Vol. 7 (7): 365–369.
- Sari SHJ, Kirana JFA, Guntur, 2017. Analisis Kandungan Logam Berat Hg dan Cu Terlarut di Perairan Pesisir Wonorejo, Pantai Timur Surabaya. *J. Pendidikan Geografi*, Vol. 22 (1): 1-9.
- Shannon MW, Harper AA, 2007. *Lead other Metals and Chelation Theraphy*. Comprehensive Pediatric Hospital. Philadelphia: Mosby.
- Siahaan B, Mantiri DM, Rimper JR, 2017. Analisis Logam Timbal (Pb) dan Konsentrasi Klorofil pada Alga *Padina australis* Hauck dari Perairan Teluk Totok dan Perairan Blongko, Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, Vol. 2 (1): 31-37.
- Siaka I Made, Suastuti I Gusti AMDA, Mahendra I Putu B, 2016. Distribusi Logam Berat Pb dan Cu pada Air Laut, Sedimen, dan Rumpun Laut di Perairan Pantai Pandawa. *Jurnal Kinia*, Vol. 10 (2): 190-196.
- Supardi W, Nugroho AP, 2019. Bioakumulasi Timbal (Pb) pada Makroalga *Padina australis* Hauck di Perairan Laut Kota Makassar Sulawesi Selatan. *Bioma*, Vol. 21 (1): 9-15.
- Stevanus CT, Jamin, Saputra, Thomas, Wijaya, 2015. Peran Unsur Mikro Bagi Tanaman Karet. *Warta Perkaratan*, Vol. 34 (1): 11-18.
- Taylor WR, 1979. *Marine Algae of the Eastern Tropical and Subtropical Coasts of The Americas*. USA: University of Michigan Press.
- Widiana F, Wikantiyoso R, 2018. Implementasi Kearifan Lokal Dalam Strategi Pengembangan Wisata Pantai Sendang Biru Untuk Pelestarian Pulau Sempu. *Local Wisdom Scientific Online Journal*, Vol. 10 (1): 9-17.
- Yudiati E, Sedjati S, Enggar I, Hasibuan I, 2009. Dampak Pemaparan Logam Berat Kadmium Pada Salinitas yang Berbeda Terhadap Mortalitas dan Kerusakan Jaringan Insang Juvenile Udang Vaname (*Litopeneus vannamei*). *J. Ilmu Kelautan*, Vol. 14 (4): 29-35.
- Yulaipi S, Aunurohim, 2013. Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Hubungannya dengan Laju Pertumbuhan Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*). *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, Vol. 2 (2): 2337-3520.
- Yulianto B, Pramesti R, Hamdani R, Sunaryo, Santoso A, 2018. Kemampuan Biosorpsi dan Pertumbuhan Rumpun Laut *Gracilaria* sp. pada Media Mengandung Logam Berat Kadmium (Cd). *Jurnal Kelautan Tropis*, Vol. 21 (2): 129-136.

Published: 31 Januari 2021

Authors:

Andini Rheina Saraswati, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Jln. Ketintang, Gayungan, 60231 Surabaya, Indonesia, E-mail: andinirheinas@gmail.com
 Fida Rachmadiarti, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Jln. Ketintang, Gayungan, 60231 Surabaya, Indonesia, E-mail: fidarachmadiarti@unesa.ac.id

How to cite this article:

Saraswati AR, Rachmadiarti F, 2021. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada *Padina australis* di Pantai Sendang Biru Malang. *LenteraBio*; 10(1): 67-76