

Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) pada *Padina australis* di Pantai Sendang Biru Malang

The Content of Heavy Metal Cadmium (Cd) in Padina australis at Sendang Biru Beach Malang

Nita Anggreani*, Fida Rachmadiarti

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Surabaya

* e-mail: nita.17030244019@mhs.unesa.ac.id

Abstrak. *Padina australis* merupakan jenis rumput laut yang ditemukan di Pantai Sendang Biru Malang. Padatnya aktivitas kelautan di pantai tersebut diduga menimbulkan pencemaran perairan berupa pencemaran logam Cd yang berasal dari tempat pelelangan ikan, kapal penyebrangan, serta bongkar muat kapal. Rumput laut yang terpapar logam Cd berpengaruh terhadap kadar protein dan klorofil sehingga menghambat pertumbuhannya. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kadar kadmium, klorofil, protein, serta hubungan antara kadar kadmium terhadap kadar protein *Padina australis*. Pengambilan *Padina australis* di Pantai Sendang Biru Malang pada tiga stasiun. Analisis kadar Cd dengan AAS dan kadar klorofil dengan spektrofotometer. Data dianalisis statistik korelasi Pearson untuk mengetahui hubungan kadar Cd dengan kadar protein. Hasil penelitian menunjukkan kadar Cd *Padina australis* sebesar $0,019 \pm 0,001$ mg/kg - $0,027 \pm 0,001$ mg/kg, kadar klorofil total berkisar $19,958 \pm 2,480$ mg/l - $20,024 \pm 2,631$ mg/l, kadar protein berkisar 1,73-2,15%, serta hubungan kadar Cd dengan kadar protein *Padina australis* memiliki korelasi negatif, semakin tinggi kadar Cd, maka kadar protein semakin rendah.

Kata kunci: kadmium; padina australis; pantai sendang biru

Abstract. *Padina australis* is a type of seaweed found in Sendang Biru Beach Malang. The dense activity on the beach is thought to have caused water pollution in the form of Cd metal pollution from fish auctions, ferry boats, and ship loading and unloading. Seaweed that is exposed to Cd metal affects the levels of protein and chlorophyll so that it inhibits its growth. The purpose of this study was to analyze levels of cadmium, chlorophyll, protein, and the relationship between cadmium levels and protein levels of *Padina australis*. Taking *Padina australis* at Sendang Biru Beach Malang. Analysis of Cd levels with AAS and chlorophyll levels using a spectrophotometer. Pearson statistical data to see the relationship between Cd levels and protein levels. The results showed that the levels of Cd *Padina australis* were 0.019 ± 0.001 mg/kg - 0.027 ± 0.001 mg/kg, total chlorophyll levels ranged from 19.958 ± 2.480 mg/l - 20.024 ± 2.631 mg/l, protein levels ranged from 1.73 to 2.15 %, and the relationship between Cd levels and *Padina Australia* protein content had a negative appearance, the higher the Cd level, the lower the protein content.

Key words: cadmium; padina australis; sendang biru beach

PENDAHULUAN

Rumput laut tidak mempunyai organ tumbuhan, namun sebagai pengganti dengan adanya thallus (Kurniawan *et al.*, 2018). Rumput laut dikelompokkan menjadi beberapa kelas berdasarkan kandungan pigmennya, diantaranya yaitu rumput laut coklat (*Phaeophyta*). *Padina australis* merupakan contoh alga cokelat (*Phaeophyta*) yang memiliki bentuk lembaran atau filament lebar yang tipis dengan warna cokelat transparan (Franklin *et al.*, 2017). Thalus pada rumput laut ini berwarna cokelat kekuningan dengan bentuk menyerupai kipas yang rata-rata berukuran 7 cm. Dalam pemanfaatannya, sering dimanfaatkan dalam bidang industri pangan, biologi, farmasi, dan lain-lain. Pada industri pangan, rumput laut digunakan sebagai bahan baku pembuatan karaginan (Santika *et al.*, 2014).

Di perairan Indonesia, sebaran rumput laut banyak ditemukan di perairan pantai, yaitu salah satunya Sendang Biru. Pantai ini merupakan wilayah cagar alam Pulau Sempu dan termasuk objek wisata berlokasi di Malang Selatan, tepatnya di Desa Tambakrejo, Kecamatan Sumbermanjing, Kabupaten Malang. Pantai Sendang Biru mempunyai hasil laut dari kegiatan perikanan dan juga

komoditas ekspor yaitu salah satunya berupa rumput laut. Selain sebagai tempat wisata dan perikanan (nelayan), Pantai Sendang Biru digunakan sebagai Tempat Pelelangan Ikan (TPI), pelabuhan (Handartoputra *et al.*, 2015) dan juga sebagai lalu lintas kapal penyebrangan ke Pulau Sempu yang menggunakan perahu mesin berbahan bakar bensin. Berbagai kegiatan tersebut, tentunya menghasilkan limbah beserta gas buangan yang dapat menjadi sumber pencemaran bagi perairan salah satunya yaitu pencemaran logam berat (Siaka *et al.*, 2016). Salah satu bahan pencemar yaitu logam kadmium. Sumber logam kadmium dari pantai tersebut diduga berasal dari Tempat Pelelangan Ikan (TPI), lalu lintas kapal penyebrangan ke Pulau Sempu, serta aktivitas bongkar muat kapal. Logam tersebut beresiko tinggi bagi manusia pada kurun waktu lama serta pada tubuh akan tertimbun di bagian organ seperti ginjal dan hati (Palar, 2004). Selain itu, bagi rumput laut yang telah terpapar oleh logam berat kadmium akan mengalami penurunan berat molekul protein yang berakibat pada proses fotosintesis serta penurunan kadar klorofil, sehingga berakibat pada penurunan laju pertumbuhannya (Ryan, 2010). Di perairan pantai logam kadmium (Cd) bersumber dari kegiatan perkapalan, seperti pengecatan dan tumpahan minyak yang dapat menambah masuknya kadmium di perairan (Akbar *et al.*, 2014). Selain itu, menurut Madusa (2012) sumber kadmium (Cd) di perairan dapat berasal dari kegiatan nelayan, seperti tumpahan solar dan limbah domestik. Di perairan, keberadaan logam berat dapat terserap oleh rumput laut (Siaka *et al.*, 2016). Dengan begitu, keberadaan rumput laut di Pantai Sendang Biru sebagai habitatnya dapat terancam dikarenakan terkena dampak oleh adanya pencemaran dari logam berat khususnya Cd. Oleh sebab itu, diperlukan adanya analisis logam berat terhadap rumput laut yang terdapat di Pantai Sendang Biru Malang.

Analisis logam berat rumput laut dilakukan karena terkait dengan pemanfaatan rumput laut khususnya sebagai makanan. Dengan begitu pentingnya diketahui tingginya kadar logam yang tertimbun. Hal tersebut dilaksanakan sebagaimana wujud dari pengamatan suatu mutu keamanan konsumsi pada masyarakat dan pencemaran perairan. Tinjauan suatu keamanan pangan merupakan suatu elemen yang tidak terlepas pada ketahanan pangan masyarakat (Kafiar *et al.*, 2013). Menurut Peraturan BPOM No. 5 Tahun 2018 tentang batas maksimum cemaran logam berat pada rumput laut meliputi arsen 0,15 mg/kg, timbal 0,20 mg/kg, merkuri 0,03 mg/kg, serta kadmium 0,05 mg/kg. Selain itu, berdasarkan Standar Nasional Indonesia No.01-7387:2009 tentang batas maksimum cemaran logam berat rumput laut segar serta hasil olahan yaitu 0,2 mg/kg. Berdasarkan penelitian Teheni (2018) diketahui kadar Cd tertinggi pada *Euchema cottoni* di Desa Nipa-Nipa sebesar 0,2920 ppm dan terendah di Desa Baruga Selatan sebesar 0,1824 ppm, kadar tersebut menurut FAO telah melebihi ambang batas sebesar 0,1 ppm. Penelitian Setiabudi *et al* (2018) kadar Cd *Euchema cottoni* pada Perairan Pamekasan dan Perairan Sumenep berturut-turut berkisar 0,0182-0,0262 ppm dan 0,1298-0,1314 ppm.

Berdasarkan paparan diatas, maka perlu dilakukan penelitian terkait analisis logam Cd pada rumput laut di Pantai Sendang Biru Malang sebagaimana diketahui manfaatnya yang sangat penting dalam bidang pangan. Tujuan penelitian adalah menganalisis kadar logam Cd, kadar klorofil, kadar protein pada rumput laut *Padina australis* serta hubungan antara kadar logam kadmium terhadap kadar protein pada rumput laut *Padina australis*.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan Agustus 2020 hingga Januari 2021. Jenis penelitian deskriptif dengan metode observasi yaitu kegiatan ilmiah yang didasarkan pada suatu fakta di lapangan tanpa menggunakan manipulasi apapun. Metode sampling menggunakan *purposive sampling*, dimana pengambilan sampel didasarkan atas suatu kriteria tertentu, seperti ciri-ciri, sifat, atau karakteristik (Agustina *et al.*, 2019).

Pengambilan sampel rumput laut diperoleh dari tiga stasiun di Pantai Sendang Biru Malang. Analisis kadar kadmium dan kadar protein dilaksanakan di Baristand Industri Surabaya. Analisis kualitas air dilaksanakan di Laboratorium Ekologi FMIPA UNESA. Analisis kadar klorofil dilaksanakan di Laboratorium Fisiologi FMIPA UNESA.

Alat yang dipakai antara lain alat gelas, mortal dan alu, cawan porselin haldenwager, botol plastik, timbangan analitik, pemanas listrik, water bath, oven, termometer, pH meter Milwaukee, DO meter Milwaukee Mi 605, refraktometer Atago S-28, *Atonomic Absorption Spectrophotometry* (AAS), mapada V-1100D Spectrophotometry. Bahan yang dipakai adalah sampel rumput laut *Padina australis*, sampel air laut, HNO₃, NaOH 1%, aquades, alkohol 95%, kertas saring whattman 42.

Lokasi sampling ditentukan berdasarkan perbedaan padat tidaknya aktivitas di Pantai Sendang Biru Malang. Pengambilan sampel dilakukan di tiga stasiun, tiap stasiun terdapat tiga kali pengulangan. Jarak antar satu stasiun dengan stasiun lainnya sebesar 1 km. Stasiun I merupakan lokasi dengan sedikit aktivitas dan sangat jauh dengan TPI (Tempat Pelelangan Ikan) yang berjarak 3 km. Lokasi ini sebagai tempat melintas kapal-kapal bermotor yang akan menyebrang ke Pulau Sempu ataupun kapal-kapal pencari ikan yang jumlahnya sangat sedikit. Stasiun II merupakan lokasi dengan aktivitas yang sedang dan terletak sedikit dekat dengan lokasi TPI (Tempat Pelelangan Ikan) yang berjarak 2 km. Pada lokasi ini terdapat aktivitas kapal-kapal bermotor pencari ikan ataupun kapal penyebrangan untuk wisata ke Pulau Sempu yang mana intensitasnya tidak begitu banyak, serta sebagai tempat bongkar muat kapal. Stasiun III merupakan lokasi dengan padat aktivitas dan terletak sangat dekat dengan TPI (Tempat Pelelangan Ikan) yang berjarak 1 km. Lokasi ini terdapat banyak aktivitas kapal bermotor yang digunakan sebagai wisata ataupun mencari ikan, dikarenakan letaknya yang sangat dekat dengan dermaga/ Tempat Pelelangan Ikan (TPI).

Pengambilan sampel rumput laut dilakukan di tiga stasiun pada Pantai Sendang Biru Malang. Dalam setiap stasiun dilakukan tiga kali pengulangan. Sampel rumput laut diambil dari kedalaman 0-30 cm dengan cara mencabut rumput laut sebanyak 1 kg dari substrat dengan menggunakan tangan, kemudian dimasukkan ke dalam kantong sampel (Khatimah *et al.*, 2016).

Pengambilan sampel air laut dilakukan di tiga stasiun tempat diambilnya rumput laut di Pantai Sendang Biru Malang. Air laut diperoleh dari kolom air lokasi diambilnya sampel dengan botol plastik (Khatimah *et al.*, 2016).

Pada preparasi sampel rumput laut, sampel dicuci bersih dengan aquadest, lalu dioven dengan suhu 60°C hingga berganti menjadi warna coklat kehitaman. Rumput laut yang telah kering, kemudian digerus menggunakan mortar hingga menjadi serbuk, lalu dihomogenisasi. Serbuk sebanyak 5 gram dimasukkan ke dalam cawan porselin, kemudian ditambahkan dengan HNO₃ sebanyak 20 ml, setelah itu didestruksi. Hasil dari destruksi disaring dengan kertas saring dan didapatkan hasil larutan jernih. Lalu filtrat diletakkan pada labu ukur 50 ml. Kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan metode *Atonomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) (Teheni, 2018).

Pada preparasi sampel air laut, terlebih dahulu sampel air laut dikocok hingga homogen, kemudian dimasukkan ke labu ukur sebanyak 30 ml, kemudian ditambahkan HNO₃ sebanyak 5 ml. Sampel air tersebut dipanaskan menggunakan pemanas listrik hingga menguap dan hanya tersisa ±10 ml, kemudian ditambahkan akuades sebesar ±40 ml hingga volume larutan menjadi 50 ml. Setelah itu dimasukkan ke botol plastik, serta siap dilakukan analisis dengan metode *Atonomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) (Khatimah *et al.*, 2016).

Pada pengujian kadar protein, sampel rumput laut dicuci bersih menggunakan air bersih, lalu dikeringkan. Sampel rumput laut sebanyak 5 gr dipotong menjadi bagian kecil-kecil, kemudian dimasukkan ke dalam beaker glass dan ditambahkan dengan akuades hingga semua bagian rumput laut terendam selama 24 jam. Setelah itu, sampel rumput laut dicuci bersih menggunakan air mengalir, lalu dimasukkan kembali ke dalam beaker glass yang telah berisi akuades dan ditambahkan pula larutan NaOH 1%. Sampel rumput laut diatur nilai pH-nya berkisar antara 8,5-9 yang diukur menggunakan pH meter. Sampel rumput laut kemudian dipanaskan selama 3 jam dengan suhu sekitar 70-90°C diatas penangas air. Pada saat itu sampel rumput laut hancur menjadi gel. Sebelum gel menjadi memadat, gel tersebut disaring menggunakan kain kasa dalam kondisi masih panas. Hasil saringan yang telah diperoleh ditampung didalam beaker glass dan ditambahkan alkohol 96% hingga semua bagian rumput laut terendam selama 24 jam. Langkah yang terakhir yaitu ekstrak ditiriskan dan dioven selama 4 jam pada suhu 60°C (Basiroh *et al.*, 2016).

Pada pengujian kadar klorofil, sampel rumput laut diambil sebanyak 10 gram, diiris hingga berukuran kecil, lalu dihaluskan hingga halus dengan mortar. Setelah itu, hasil gerusan sampel rumput laut diekstraksi dengan ditambahkan alkohol 95% sebanyak 100 ml. Setelah itu, disaring dengan kertas saring sampai 100 ml. Apabila kurang dari 100 ml akan ditambahkan dengan alkohol 95%. Lalu filtrat hasil saringannya, diukur klorofilnya dengan spektrofotometer menggunakan panjang gelombang sebesar 649 nm serta 665 nm, dihitung menggunakan rumus dari Wintermans dan de Mos:

Klorofil a : $13,7 \times OD_{665} - 5,76 \times OD_{649}$ (mg/l)

Klorofil b : $25,8 \times OD_{649} - 7,7 \times OD_{665}$ (mg/l)

Klorofil total : $20,0 \times OD_{649} + 6,1 \times OD_{665}$ (mg/l)

Keterangan: OD : nilai absorbansi klorofil (Ajningrum, 2018).

Data yang didapatkan di uji statistik korelasi pearson dua sampel untuk mengetahui korelasi antara kadar logam Cd terhadap kadar protein pada rumput laut. Data kualitas perairan berupa suhu, pH (derajat keasaman), DO (oksigen terlarut), serta salinitas dianalisis deskriptif kuantitatif menggunakan perbandingan berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 dan Standar Nasional Indonesia No.01-7387: 2009 tentang batas maksimum cemaran kadmium (Cd) dalam pangan.

HASIL

Penelitian analisis kadar logam Cd *Padina australis* diperoleh data berupa kadar logam Cd *Padina australis*, kadar logam Cd perairan, kadar klorofil *Padina australis*, kadar protein *Padina australis*, hubungan kadar logam Cd dengan kadar protein *Padina australis*, serta parameter fisika-kimia lingkungan perairan.

Rerata kadar logam Cd *Padina australis* tertinggi yaitu $0,027 \pm 0,001$ mg/kg di stasiun III, serta terendah yaitu $0,019 \pm 0,001$ mg/kg di stasiun I, dimana masih dibawah ambang batas berdasarkan Standar Nasional Indonesia No.01-7387: 2009 sebesar 0,2 mg/kg (Tabel 1).

Kadar tertinggi logam berat Cd pada perairan Pantai Sendang Biru Malang di stasiun III sebesar 0,0004 mg/l, terendah di stasiun I sebesar 0,0002 mg/l. Kadar tersebut masih dibawah baku mutu menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 sebesar 0,01 mg/l (Tabel 2).

Rerata kadar klorofil a, b, total tertinggi pada *Padina australis* di stasiun I berturut-turut yaitu $10,900 \pm 2,424$ mg/l; $9,043 \pm 0,701$ mg/l dan $20,024 \pm 2,631$ mg/l, sedangkan rerata kadar klorofil a, b, total terendah di stasiun III berturut-turut $10,786 \pm 2,290$ mg/l; $9,092 \pm 0,789$ mg/l dan $19,958 \pm 2,480$ mg/l (Tabel 3).

Kadar protein *Padina australis* tertinggi sebesar 2,15% pada stasiun II, sedangkan terendah pada stasiun III sebesar 1,73% (Tabel 4). Logam berat kadmium (Cd) berpengaruh terhadap kadar protein. Berdasarkan hasil uji statistik menggunakan uji korelasi pearson dua sampel untuk mengetahui korelasi kadar logam Cd terhadap kadar protein pada rumput laut *Padina australis*, diketahui bahwa keduanya memiliki korelasi negatif dengan nilai signifikan (2-tailed) sebesar 0,597 dengan koefisien korelasi sebesar -0,592, dimana semakin tinggi kadar logam berat kadmium (Cd) rumput laut, maka semakin rendah kadar protein (Gambar 1).

Pengukuran parameter fisika-kimia lingkungan Perairan Pantai Sendang Biru Malang meliputi suhu, kadar oksigen terlarut (DO), salinitas, serta derajat keasaman (pH). Suhu tertinggi yaitu $31,33$ °C di stasiun I, serta suhu terendah yaitu $30,33$ °C di stasiun III, suhu tersebut telah melewati ambang batas. pH tertinggi terdapat di stasiun I dan II yaitu 7,98, sedangkan pH terendah di stasiun III yaitu 7,93. pH tersebut masih dalam kisaran normal bagi rumput laut yaitu sebesar 7-8,5. DO tertinggi di stasiun I yaitu 1,6 mg/l, sedangkan DO terendah di stasiun III yaitu 0,9 mg/l, DO tersebut belum melebihi ambang batas sebesar >5 mg/l. Salinitas tertinggi sebesar 24,33 ppt pada stasiun I, sedangkan salinitas terendah sebesar 17 ppt pada stasiun III, salinitas tersebut dibawah ambang batas yang ditetapkan sebesar 33-34 ppt (Tabel 5).

Tabel 1. Rata-rata kadar logam Cd pada *Padina australis* di Pantai Sendang Biru Malang

Stasiun	Pengulangan	Kadar logam Cd (mg/kg)	Rata-rata kadar logam Cd (mg/kg)	Baku mutu (mg/kg)
I	1	0,018	0,019±0,001	0,2
	2	0,020		
	3	0,019		
II	1	0,021	0,023±0,002	
	2	0,025		
	3	0,023		
III	1	0,028	0,027±0,001	
	2	0,026		
	3	0,028		

Tabel 2. Kadar logam Cd perairan di Pantai Sendang Biru Malang

Stasiun	Kadar logam Cd (mg/L)	Baku mutu (mg/L)
I	0,0002	0,01
II	0,0003	

Stasiun	Kadar logam Cd (mg/L)	Baku mutu (mg/L)
III	0,0004	

Tabel 3. Rata-rata kadar klorofil pada rumput laut *Padina australis* di Pantai Sendang Biru Malang

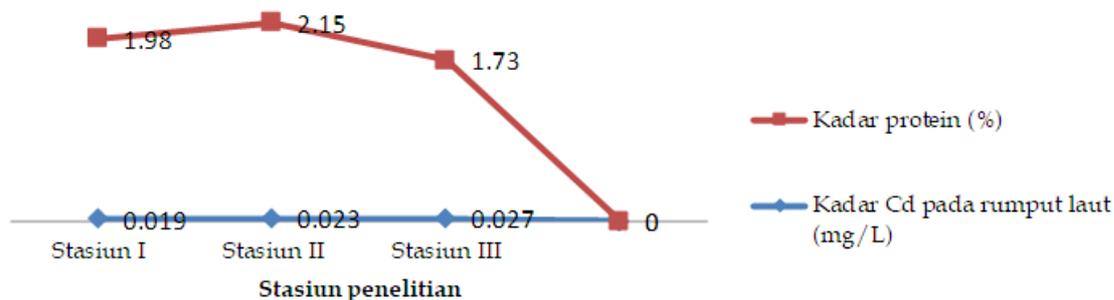
Stasiun	Pengulangan	Kadar Klorofil a (mg/L)	Kadar Klorofil b (mg/L)	Kadar Klorofil total (mg/L)
	n			
I	1	8,123	8,718	16,993
	2	12,706	8,563	21,362
	3	11,783	9,848	21,719
Rata-rata		10,900 ± 2,424	9,043 ± 0,701	20,024 ± 2,631
II	1	8,235	8,279	17,025
	2	12,753	8,829	21,677
	3	11,250	10,035	21,367
Rata-rata		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		10,786 ± 2,290	9,092 ± 0,789	19,958 ± 2,480

Tabel 4. Kadar protein pada rumput laut *Padina australis* di Pantai Sendang Biru Malang

Stasiun	Protein (%)	Rata-rata (%)
I	1,98	1,95
II	2,15	
III	1,73	

Tabel 5. Parameter faktor fisika-kimia lingkungan perairan Pantai Sendang Biru Malang

Stasiun	Parameter	Pengulangan			Rata-rata	Baku Mutu
		1	2	3		
1	Suhu (°C)	32	30	32	31,33 ± 1,154	28-30
	pH	8,03	7,95	7,96	7,98 ± 0,043	7-8,5
	DO (mg/L)	1,6	1,6	1,6	1,6 ± 2,719	>5
	Salinitas (ppt)	24	25	24	24,33 ± 0,577	33-34
	Suhu (°C)	31	32	30	31 ± 1,000	28-30
2	pH	7,98	7,99	7,99	7,98 ± 0,005	7-8,5
	DO (mg/L)	1,0	1,2	1,4	1,2 ± 0,200	>5
	Salinitas (ppt)	23	21	20	21,33 ± 1,527	33-34
	Suhu (°C)	30	31	30	30,33 ± 0,577	33-34
3	pH	7,93	7,92	7,94	7,93 ± 0,010	7-8,5
	DO (mg/L)	0,9	0,9	0,9	0,9 ± 0,000	>5
	Salinitas (ppt)	19	15	17	17 ± 2,000	33-34



Gambar 1. Hubungan kadar logam berat kadmium (Cd) terhadap kadar protein rumput laut *Padina australis* di Pantai Sendang Biru Malang

PEMBAHASAN

Rumput laut *Padina australis* merupakan alga cokelat (Phaeophyta) yang memiliki bentuk lembaran atau filament lebar yang tipis dengan warna cokelat transparan (Franklin *et al.*, 2017). Rumput laut ini tumbuh pada substrat berupa batu pasir (Kumalasari *et al.*, 2018). Dalam pemanfaatannya, rumput laut ini dimanfaatkan dalam bidang industri pangan, biologi, farmasi, dan

lain-lain. Pada industri pangan, rumput laut digunakan sebagai bahan baku pembuatan karaginan (Santika *et al.*, 2014).

Pantai Sendang Biru Malang merupakan suatu kawasan cagar alam Pulau Sempu dan juga salah satu tempat tumbuh bagi rumput laut *Padina australis*. Disisi lain, Pantai Sendang Biru Malang dijadikan sebagai tempat wisata, perikanan (nelayan), pelabuhan, penyebrangan ke Pulau Sempu, serta Tempat Pelelangan Ikan (TPI) (Handartoputra *et al.*, 2015). Berbagai aktivitas tersebut tentunya menghasilkan limbah yang terbuang ke perairan tersebut. Dengan begitu dapat menimbulkan pencemaran perairan berupa pencemaran logam Cd. Dalam suatu perairan, apabila terkontaminasi oleh logam berat maka akan terlarut dan diserap organisme air yang berada pada dasar perairan. Rumput laut salah satu contoh biota yang mampu menyerap senyawa logam berat pada dasar (Rahmaningsih, 2012).

Hasil analisis kadar logam Cd *Padina australis* dan perairan Pantai Sendang Biru Malang pada stasiun I sebesar $0,019 \pm 0,001$ mg/kg dan $0,0002$ mg/l. Stasiun I merupakan lokasi dengan sedikit aktivitas manusia dan terletak sangat jauh dari Tempat Pelelangan Ikan (TPI) yang berjarak 3 km. Lokasi ini hanyalah sebagai tempat melintas kapal-kapal yang akan menyebrang ke Pulau Sempu ataupun kapal-kapal pencari ikan. Dari kegiatan tersebut, menyumbang limbah berupa logam berat. Dimana logam berat tersebut berasal dari tumpahan/ bocoran bahan bakar perahu atau kapal yang melintas (Permanawati *et al.*, 2013).

Kadar logam Cd *Padina australis* dan perairan Pantai Sendang Biru Malang pada Stasiun II yaitu $0,023 \pm 0,002$ mg/kg dan $0,0003$ mg/l. Stasiun II merupakan lokasi dengan aktivitas manusia yang sedang dan terletak sedikit dekat dengan Tempat pelelangan Ikan (TPI) yang berjarak 2 km. Lokasi ini merupakan tempat bersandar kapal-kapal nelayan pencari ikan ataupun kapal penyebrangan ke Pulau Sempu. Aktivitas yang terdapat di stasiun ini seperti pengisian bahan bakar serta bongkar muat kapal. Menurut Emilia *et al* (2013) logam kadmium (Cd) dapat bersumber dari pelabuhan yang memiliki aktivitas seperti tempat bersandar dan berlabuh kapal-kapal, serta aktivitas bongkar muat kapal.

Kadar logam Cd pada rumput laut *Padina australis* dan perairan Pantai Sendang Biru Malang pada stasiun III sebesar $0,027 \pm 0,001$ mg/kg dan $0,0004$ mg/l. stasiun III merupakan lokasi dengan aktivitas manusia yang sangat padat dan terletak di dekat Tempat Pelelangan Ikan (TPI) yang berjarak 1 km. Tempat tersebut menyumbang limbah sisa dari aktivitas perikanan yang langsung dibuang ke perairan tersebut tanpa adanya pengelolaan terlebih dahulu. Selain itu, lokasi tersebut dimanfaatkan sebagai kapal nelayan pencari ikan untuk bersandar, tempat bongkar muat kapal, baik kapal nelayan ataupun penyebrangan. Kadar logam Cd pada stasiun ini sangat tinggi diduga bersumber dari aktivitas-aktivitas tersebut. Hal ini sejalan dengan Setiawan dan Endro (2015) bahwa logam berat Cd bersumber dari beberapa kegiatan antara lain limbah domestik, aktivitas perbaikan kapal, serta aktivitas transportasi laut sebagai sarana penyebrangan.

Genus *Padina* jika dilihat morfologinya, hanya berupa lembaran dengan banyak kalsium yang menempel sehingga berwarna coklat keputihan, hal tersebut yang menjadikan rumput laut ini dalam tingkat penyerapannya terhadap logam berat relatif rendah (Abidin *et al.*, 2016). Dalam mengakumulasi logam berat berkonsentrasi tinggi pada suatu jaringan, suatu tumbuhan perlu menghasilkan biomassa yang cukup (Rachmadiarti and Trimulyono, 2019). Selain itu, tidak semua logam berat dapat diserap serta terdapat kisaran konsentrasi tertentu yang masih dapat ditolerir oleh rumput laut (Riska *et al.*, 2019). Tanaman yang menyerap logam berat, akan masuk ke tempat yang bersifat anion pada dinding sel serta tidak nampak pada proses metabolisme. Hal tersebut bertujuan sebagai adaptasi tanaman air terhadap lingkungan yang tercemar logam berat (Rachma *et al.*, 2014).

Logam berat yang terbawa oleh hujan akan masuk dalam perairan, kemudian mengendap pada sedimen dan diserap oleh rumput laut yang hidup pada dasar perairan (Azizah *et al.*, 2018). Rumput laut memiliki kemampuan untuk menyerap ion logam, baik dalam keadaan hidup ataupun mati, dimana ion logam berupa polisakarida akan diikat dengan gugus fungsi (Harahap *et al.*, 2019). Ibrahim *et al* (2012) menambahkan pada dinding sel rumput laut memiliki polisakarida, protein, atau lipid berupa amino, sulfat, karbokdil, serta hidroksil yang mampu membantu dalam penyerapan logam berat.

Logam Cd akan masuk dan tertimbun pada thallus *Padina australis* melalui proses adsorpsi pada bagian permukaan thallus dalam bentuk anion, kation, serta senyawa organik. Kemudian dilanjutkan absorpsi logam berat melewati dinding sel untuk dapat melalui mekanisme seperti difusi, difusi terfasilitasi, serta transport aktif (Syafitri, 2012). Sejalan dengan hal tersebut Purnamawati *et al* (2015) menambahkan tentang mekanisme penyerapan logam berat kadmium oleh rumput laut yaitu

ion logam Cd yang masuk pada thallus rumput laut melalui dinding sel akan berikatan dengan protein dan polisakarida. Dinding sel termasuk barier utama dalam akumulasi logam berat pada suatu mekanisme pertahanan sel. Ion logam Cd yang telah diikat oleh protein dan polisakarida dalam dinding sel, maka akan berubah bentuk yang semula dari Cd^{2+} yang toksik menjadi non toksik. Kemudian ion tersebut akan mengalami ikatan dengan fitochelatin, lalu di transpor ke vakuola sebagai upaya dalam mengurangi toksisitas pada rumput laut. Setelah itu ion logam akan mengalami berbagai proses seperti penyerapan, akumulasi dalam sel, dipecah, diekskresikan, serta disimpan atau mengalami metabolisme.

Logam berat di suatu Perairan dapat bersumber dari kegiatan manusia di darat yang berakhir ke laut. Kadar logam yang begitu rendah pada suatu perairan dikarenakan logam mengalami proses pengenceran dari dampak adanya arus serta pasang surut (Azizah *et al.*, 2018). Tingginya curah hujan mengakibatkan rendahnya logam berat dalam perairan. Dimana tingginya curah hujan juga menyebabkan salinitas perairan menjadi rendah (Supriyantini *et al.*, 2017).

Tingginya curah hujan dapat pula berpengaruh pada pH perairan yang menjadi tinggi. Menurut Palar (2004) pH yang meningkat dapat menurunkan kelarutan logam berat pada perairan dikarenakan adanya perubahan stabilitas dari karbonat ke bentuk hidroksida, dengan begitu akan mengalami pengendapan serta akumulasi pada sedimen. Kuat tidaknya arus air laut berpengaruh terhadap sebaran logam, dimana semakin kuat arus air laut maka semakin rendah kadar logam beratnya dikarenakan telah terdistribusi secara menyeluruh (Mirawati *et al.*, 2016).

Rumput laut yang telah terpapar oleh logam berat dapat menyebabkan degenerasi pada tilakoid, klorofil a, serta protein (Eder *et al.*, 2012). Pada penelitian ini, kadar klorofil tertinggi pada stasiun I sebesar 20,025 mg/l, sedangkan kadar klorofil terendah sebesar 19,958 mg/l pada stasiun III. Menurut Olivares (2003) bahwa kadar logam berat berhubungan erat dengan perubahan kadar klorofil, dimana penurunan kadar klorofil seiring dengan peningkatan kadar logam berat. Selain itu, tingginya kadar logam juga dapat mempengaruhi proses fotosintesis yang kurang optimal, sebab adanya kerusakan pada fungsi serta struktur kloroplas (Nilamsari dan Rachmadiarti, 2019).

Berubahnya kadar klorofil diakibatkan peningkatan konsentrasi logam berat kadmium yang berkaitan dengan kerusakan pada bagian kloroplas, yang mana asupan mineral yaitu besi serta magnesium berpengaruh terhadap pembentukan struktur kloroplas. Semakin tinggi akumulasi logam berat kadmium (Cd) dapat menurunkan asupan mineral seperti besi dan magnesium akibat adanya pengaruh dari antagonism ion, sehingga berakibat pada jumlah dan volume kloroplas berubah (Widowati, 2011). Selain itu, adanya logam Cd juga dapat mengakibatkan penurunan asupan unsur hara yang merupakan bahan pembentuk klorofil, yaitu besi, magnesium, dan nitrogen akibat adanya persaingan kapasitas antar kation (Monita *et al.*, 2013). Setiawati (2009) menambahkan bahwa peningkatan kadar logam Cd berpengaruh terhadap struktur kloroplas dan dapat menyebabkan degradasi pada membran tilakoid yang menghambat proses fotosintesis. Dengan terganggunya proses fotosintesis, maka dapat berpengaruh pula terhadap pertumbuhan rumput laut.

Logam kadmium dapat menghambat proses biosintesis klorofil dengan menghambat kinerja suatu enzim, dimana enzim tersebut digunakan selama berlangsungnya biosintesis klorofil. Adapun enzim yang berperan sebagai pengkatalisis pada pembentukan porphobilinogen dalam proses biosintesis klorofil yaitu asam aminolevulinic (ALAD) (Saygideger *et al.*, 2004).

Hasil analisis kadar protein pada *Padina australis* diperoleh bahwa kadar protein tertinggi berada pada stasiun dua sebesar 2,15%, sedangkan terendah pada stasiun tiga sebesar 1,73%. Perbedaan kadar protein disebabkan oleh beberapa faktor, seperti perbedaan umur panen, kondisi cuaca saat pemeliharaan (Maharany *et al.*, 2017), serta perbedaan masa tanam (Daud, 2013).

Pada umumnya rumput laut memiliki kandungan protein yang cukup tinggi daripada sayuran lokal. Sehingga dengan tingginya kadar protein, rumput laut sangat baik jika dimanfaatkan sebagai sumber makanan. Selain itu, kadar protein pada rumput laut merupakan suatu faktor yang menentukan dalam pemanfaatannya sebagai makanan tambahan/ suplemen. Kadar protein pada suatu rumput laut tergantung pada jenisnya dan periode musim (Handayani, 2006).

Kadar logam Cd *Padina australis* berkaitan erat dengan kadar protein. Hal ini dibuktikan dengan menggunakan uji statistik korelasi Pearson dua sampel diperoleh hasil bahwa nilai signifikan (2-tailed) sebesar 0,597 dengan koefisien korelasi sebesar -0,592. Dengan begitu dapat diketahui korelasi antara kadar logam Cd dengan kadar protein yaitu signifikan. Tanda negatif menandakan bahwa terdapat hubungan korelasi negatif dimana dengan semakin tinggi kadar Cd, maka kadar protein semakin rendah, begitupun sebaliknya.

Rumput laut yang telah terpapar logam berat akan mengalami penurunan pada berat molekul proteinnya, sehingga berakibat pada penurunan laju pertumbuhannya (Ryan, 2010). Selain itu, rumput laut yang telah terpapar logam berat dapat menghambat kinerja protein yang dihasilkan pada proses fotosintesis. Logam Cd pada rumput laut dapat mengakibatkan protein piconbilin menurun, sehingga proses fotosintesisnya menurun serta pertumbuhannya yang semakin rendah (Eder *et al.*, 2012).

Kondisi lingkungan sangat berkaitan terhadap keberadaan logam berat Cd di suatu perairan serta faktor utama pada pertumbuhan rumput laut. Suhu perairan pada saat penelitian berkisar antara 30,33-31,33°C. Kisaran suhu tersebut telah melebihi baku mutu yaitu 28-30°C. Perbedaan suhu pada setiap stasiun pengambilan sampel dapat dikarenakan dipengaruhi oleh arus, pasang, kedalaman serta cahaya matahari (Kepel *et al.*, 2015). Pada penelitian ini, suhu begitu tinggi karena waktu pengambilan sampel dilakukan di siang hari, sehingga kondisi perairan panas, air menyerap cahaya. Menurut Palar (2012) suhu perairan yang meningkat dapat menurunkan adsorpsi senyawa logam berat. Selain itu, suhu pada perairan dapat berpengaruh pada proses fisiologi rumput laut, yaitu pada proses respirasi, fotosintesis, serta metabolisme yang berkaitan erat terhadap pertumbuhan dan reproduksi (Risnawati *et al.*, 2018). Tingginya suhu suatu perairan, mengakibatkan rumput laut mati.

Derajat keasaman (pH) air laut Pantai Sendang Biru berkisar antara 7,93 - 7,98. Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004, kisaran pH tersebut merupakan pH optimum bagi rumput laut yaitu sebesar 7 - 8,5. Kondisi pH yang asam ataupun basa pada setiap perairan dapat membahayakan bagi kelangsungan hidup suatu organisme dikarenakan terjadinya gangguan pada metabolisme (Risnawati *et al.*, 2018). Semakin tinggi pH, maka semakin rendah kelarutan logam pada perairan, sebab dapat merubah bentuk logam yang semula karbonat menjadi hidroksi pada suatu badan air (Palar, 2012).

Kadar oksigen terlarut Pantai Sendang Biru berkisar 0,9 - 1,6 mg/l. Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004, kisaran DO tersebut dibawah ambang batas yaitu sebesar >5 mg/l. Kadar DO yang begitu rendah pada perairan sangat berbahaya bagi kehidupan akuatik (Sugianti dan Lismining, 2018). Kelarutan oksigen pada suatu perairan disebabkan oleh faktor suhu. Suhu yang tinggi menyebabkan kelarutannya rendah.

Salinitas saat penelitian berkisar 17 - 24,33 ppt, dimana kisaran kurang cocok untuk rumput laut yang seharusnya berkisar antara 33 - 34 ppt. Berdasarkan hasil pengukuran, rendahnya salinitas diduga karena dari pengaruh daratan yaitu adanya aliran sungai yang membawa air tawar yang telah tercampur (Patty, 2013). Tinggi rendahnya salinitas disebabkan oleh berbagai faktor, seperti aliran sungai, curah hujan, penguapan (evaporasi), serta pola sirkulasi air (Nontji, 2002). Adanya perbedaan pada kadar salinitas dikarenakan adanya pengadukan dari gelombang laut yang ditimbulkan akibat tiupan angin.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, dapat ditarik simpulan yaitu kadar logam Cd rumput laut *Padina australis* di pantai Sendang Biru Malang berkisar $0,019 \pm 0,001$ mg/kg - $0,027 \pm 0,001$ mg/kg, masih dibawah baku mutu sehingga aman untuk konsumsi. Kadar klorofil total berkisar $19,958 \pm 2,480$ mg/l - $20,024 \pm 2,631$ mg/l. Kadar protein berkisar 1,73-2,15%. Hubungan antara kadar logam Cd *Padina australis* dengan kadar protein berkorelasi negatif, dimana semakin tinggi kadar logam berat kadmium (Cd), maka semakin rendah kadar protein.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin F, Shinta W, Rahmadi T, 2016. Biokonsentrasi Fleshy Macroalgae terhadap Logam Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) di Pulau Bonebatang, Barranglompo, dan Lae-Lae Caddi, Kota Makassar. *Jurnal Rumput Laut Indonesia*, 1(1): 8-16.
- Agustina DY, Suprpto D, Sigit F, 2019. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) di Sungai Tenggang Semarang Jawa Tengah. *Journal of Maquares*, 8(3): 242-249.
- Ajiningrum PS, 2018. Kadar Total Pigmen Klorofil Tanaman *Avicennia marina* pada Tingkat Perkembangan Daun yang Berbeda. *Stigma*, 11(2): 52-59.
- Akbar AW, Daud A, Anwar M, 2014. Analisis Risiko Lingkungan Logam Berat Cadmium (Cd) pada Sedimen Air Laut di Wilayah Pesisir Kota Makassar. Fakultas Kesehatan Masyarakat. Universitas Hasanuddin.
- Andrade S, Matias HM, James WM, Juan AC, 2006. Cadmium copper antagonism in seaweeds inhabiting coastal areas affected by copper mine waste disposals. *Environmental Science and Technology*, 41(14): 4382-4387.
- Azizah R, Malau R, Susanto AB, Santosa GW, Hartati R, Irwanidan S, 2018. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air, Sedimen, Dan Rumput Laut *Sargassum* sp. di Perairan Teluk Awur, Jepara. *Jurnal Kelautan Tropis*, 21(2):155-166.
- Badan Standardisasi Nasional, 2009. Batas Maksimum Cemar Logam Berat dalam Pangan. Jakarta: Standar Nasional Indonesia (SNI 7387: 2009).

- Banjarnahor J, 2000. Atlas Ekosistem Pesisir Tanah Grogot, Kalimantan Timur. Jakarta: Puslitbang Oseanologi-LIPI.
- Basiroh S, Ali M, Berta P, 2016. Pengaruh Periode Panen yang Berbeda terhadap Kualitas Karaginan Rumput Laut *Kappaphycus alvarezii*: Kajian Rendemen dan Organoleptik Karaginan. *Maspari Journal*, 8(2): 127-135.
- Daud R, 2013. Pengaruh Masa Tanam Terhadap Kualitas Rumput Laut *Kappaphycus alvarezii*. *Media kultur*, 8(2): 135-138.
- Eder CS, Roberta de PM, Alexandra L, Marcelo M, Paulo AH, & Zenilda L B. 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.
- Emilia I, Suheryanto, Hanafiah, 2013. Distribusi Logam Kadmium dalam Air dan Sedimen di Sungai Musi Kota Palembang. *Jurnal Penelitian Sains*, 16(2): 59-64.
- 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*, 5(2): 243-253.
- Handartoputra A, Purwanti F, Boedi H, 2015. Penilaian Kerentanan Pantai di Sendang Biru Kabupaten Malang Terhadap Variabel Oceanografi Berdasarkan Metode CVI (*Coastal Vulnerability Index*). *Diponegoro Journal of Maquares*, 4(1): 91-97.
- Handayani T, 2006. Protein pada Rumput Laut. *Oseana*, 31(4): 23-30.
- Harahap MH, Muammar Y, Akhi NA, 2019. Analisis Logam Timbal dan Tembaga terhadap Daya Serap Rumput Laut *Gracilaria* sp. sebagai Biosorben. *Amina*, 1(2): 45-48.
- Ibrahim B, Sukarsa DR, Aryanti, 2012. Pemanfaatan Rumput Laut *Sargassum* sp. sebagai Adsorben Limbah Cair Industri Rumah Tangga Perikanan. *Jurnal Ilmu Perairan*, 15(1): 52-58.
- Kafiar FP, Setyono P, Ari RH, 2013. Analisis Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) pada Sapi Potong di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) SampahPutri Cempo Surakarta. *Jurnal Ekosains*, 5(2): 32-39.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No: 51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut. Deputi Menteri Lingkungan Hidup: Bidang Kebijakan dan Kelembagaan LH Jakarta.
- Kepel RC, Desy MHM, Gaspar DM, 2015. Pertumbuhan Alga Cokelat *Padina australis* Hauch di Perairan Pesisir, Desa Kampung Ambon, Kecamatan Likupang Timur, Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal LPPM Bidang Sains dan Teknologi*, 2(2): 78-85.
- Khatimah K, Samawi MF, Marzuki U, 2016. Analisis Kandungan Logam Timbal (Pb) pada *Caulerpa racemosa* yang Dibudidayakan di Perairan Dusun Puntondo, Kabupaten Takalar. *Jurnal Rumput Laut Indonesia*, 1(1): 46-51.
- Kumalasari DE, Sulistiyowati H, Dwi S, 2018. Komposisi Jenis Alga Makrobentik Divisi Phaeophyta di Zona Intertidal Pantai Pancur Taman Nasional Alas Purwo. *Berkala Saintek*, 6(1): 28-30.
- Kurniawan MC, Aryawati R, Wike AE, 2018. Pertumbuhan Rumput Laut *Euchemma spinosum* dengan Perlakuan Asal Thallus dan Bobot Berbeda di Teluk Lampung Provinsi Lampung. *Maspari Journal*, 10(2): 161-168.
- Madusa S, 2012. Analisis Risiko Paparan Kadmium (Cd) pada Masyarakat di Sekitar Sungai Pangkajene Kecamatan Bungoro Kabupaten Tangkep. *Tesis*. Makassar: Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Maharany F, Nurjanah, Suwandi R, Anwar E, Hidayat T, 2017. Kandungan Senyawa Bioaktif Rumput Laut *Padina australis* dan *Euchemma cottonii* Sebagai Bahan Baku Krim Tabir Surya. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(1): 10-17.
- Mellado M, Contreras RA, González A, Dennett G, Moenne A, 2012. Copper-induced synthesis of ascorbate, glutathione and phytochelatin in the marine alga *Ulva compressa* (Chlorophyta). *Plant Physiology and Biochemistry*, 5(1): 102-108.
- Monita R, Tarzan P, Djoko B, 2013. Kandungan Klorofil Tanaman Kangkung Air (*Ipomea aquatica*) Akibat Pemberian Logam Kadmium (Cd) pada Berbagai Konsentrasi. *LenteraBio*, 2(3): 247-251.
- Nilamsari DD dan Rachmadiarti F, 2019. Kemampuan *Azolla microphylla* dalam Menyerap Logam Berat Tembaga (Cu) pada Konsentrasi yang Berbeda. *LenteraBio*, 8(3): 207-212.
- Nontji A, 2002. *Laut Nusantara*. Jakarta: Penerbit Djambatan.
- Olivares E, 2003. The Effect of Lead on The Phytochemistry of *Tithonia diversifolia* Exposed to Roadside Automotive Pollution or Grown in Pots of Pb-Supplemented Soil. *Brazilian Journal Plant Physiology*, 15(3): 149-158.
- Palar H, 2004. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta: Rineka Cipta.
- Palar H, 2012. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta: Rineka Cipta.
- Patty SI, 2013. Distribusi Suhu, Salinitas dan Oksigen Terlarut di Perairan Kema, Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Platax*, 1(3): 148-157.
- Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2018 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan Olahan. Badan Pengawas Obat dan Makanan, Indonesia 2018p. 1689-99.
- Permanawati Y, Rina Z, Andrian I, 2013. Kandungan Logam Berat (Cu, Pb, Zn, Cd, dan Cr) dalam Air dan Sedimen di Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Geologi Kelautan*, 11(1): 9-16.
- Purnamawati FS, Soeprobawati TR, Izzati M, 2015. Potensi *Chlorolla vulgaris* Beijerinck dalam Remediasi Logam Berat Cd dan Pb Skala Laboratorium. *Jurnal Bioma*, 16(2): 102-113.
- Rachma NA, Rachmadiarti F, Sunu K, 2014. Kemampuan Adaptasi Tumbuhan Tapak Dara Air (*Jussiaea repens*) terhadap Logam Berat Kadmium (Cd). *LenteraBio*, 3(1): 13-19.
- Rachmadiarti F and Trimulyono G, 2019. Phytoremediation Capability of Water Clover (*Marsilea crenata* (L). Presl.) in Synthetic Pb Solution. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(4): 9609-9619.
- Rahmaningsih S, 2012. Penerapan Teknologi Penggunaan Rumput Laut Sebagai Biofilter Alami Air Tambak Untuk Mengurangi Tingkat Serangan Penyakit Udang *Vannamei* (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 3(1): 11-16.
- Riska N, Sri WA, Munfatul I, 2019. Kandungan Mineral dan Logam Berat pada Biosalt Rumput Laut *Padina* sp. *Jurnal Pro-Life*, 6(2): 171-179.
- Risnawati, Ma'arif K, Haslianti, 2018. Studi Kualitas Air Kaitannya dengan Pertumbuhan Rumput Laut (*Kappaphycus alvarezii*) pada Rakit Jaring Apung di Perairan Pantai Lakeba Kota Bau-Bau Sulawesi Tenggara. *Jurnal Manajemen Sumber Daya Perairan*, 4(2): 155-164.
- Ryan S, 2010. An Investigation into the Biochemical Effects of Heavy Metals Exposure on Seaweeds. *Dissertation*. Waterford Institue of Technology.
- Santika LG, Ma'arif WF, Romadhon, 2014. Karakteristik Agar Rumput Laut *Gracilaria verrucosa* Budidaya Tambak dengan Perlakuan Konsentrasi Alkali pada Umur Panen yang Berbeda. *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 3(4): 98-105.

- Saygideger S, Muhittin D, Gonca K, 2004. Effect Of Lead and pH on Lead Uptake, Chlorophyll and Nitrogen Content of *Typha latifolia* L and *Ceratophyllum demersum* L. *International Journal of Agriculture and Biology*, 6(1):168-172.
- Setiabudi D, Muhammad A, Boedi SR, 2014. Analisis Perbedaan Nilai Konsentrasi Logam Berat Cadmium (Cd) pada Rumput Laut (*Eucheuma cottonii*) di Perairan Pamekasan dan Sumenep-Madura. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 6(2): 201-206.
- Setiawan H dan Endro S, 2015. Konsentrasi Logam Berat pada Air dan Sedimen di Perairan Pesisir Provinsi Sulawesi Selatan. *Forest Rehabilitation Journal*, 3(1): 67-79.
- Setiawati MD, 2009. Uji Toksisitas Kadmium dan Timbal pada Mikroalga *Chaetoceros gracilis*. *Skripsi*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
- Siaka IM, Suastuti NG, Mahendra IP, 2016. Distribusi Logam Berat Pb dan Cu pada Air Laut, Sedimen, dan Rumput Laut di Perairan Pantai Pandawa. *Jurnal Kimia*, 10 (2): 190-196.
- Sugianti Y dan Lismining PA, 2018. Respon Oksigen Terlarut terhadap Pencemaran dan Pengaruhnya terhadap Keberadaan Sumber Daya Ikan di Sungai Citarum. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(2): 203-212.
- Syafitri E, 2012. Pertumbuhan, Konsentrasi Klorofil-A, dan Struktur Makroalgae *Gracilaria edulis* pada Media Mengandung Cu. *Tesis*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Teheni MT, 2018. Analisis Logam Berat Cd dan Simbionnya dalam Alga *Eucheuma cottoni* di Perairan Kabupaten Bantaeng. *Jurnal Farmasi, Sains, dan Kesehatan*, 4(2): 55-58.
- Widowati H, 2011. Pengaruh Logam Berat Kadmium dan Plumbum terhadap Perubahan Warna Batang dan Daun Sayuran. *El-Hayah*, 1: 167-173.

Published: 31 Januari 2021

Authors:

Nita Anggreani, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Jln. Ketintang, Gayungan, 60231 Surabaya, Indonesia, e-mail: aminabrori@gmail.com

Fida Rachmadiarti, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Jln. Ketintang, Gayungan, 60231 Surabaya, Indonesia, e-mail: tarzanpurnomo@unesa.ac.id

How to cite this article:

Anggreani N, Rachmadiarti F, 2021. Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) pada *Padina australis* di Pantai Sendang Biru Malang. *LenteraBio*; 10(1): 115-124