

Accumulation of heavy metals (As, Cd, Pb, Hg) on brown algae, *Padina australis*, cultivated in Kima Bajo Waters, North Minahasa Regency

by Deiske Sumilat 67

Submission date: 23-Aug-2021 11:18AM (UTC+0700)

Submission ID: 1634623795

File name: lis_cultivated_in_Kima_Bajo_Waters,_North_Minahasa_Regency..pdf (626.04K)

Word count: 2618

Character count: 15142

Accumulation of heavy metals (As, Cd, Pb, Hg) on brown algae, *Padina australis*, cultivated in Kima Bajo Waters, North Minahasa Regency

Indonesian title:

Akumulasi logam berat (As, Cd, Pb, Hg) pada alga coklat, *Padina australis*, yang dibudidayakan di perairan Kima Bajo, Kabupaten Minahasa Utara

Sarif Hidayat¹, Desy M.H. Mantiri^{2*}, James J.H. Paulus², Markus T. Lasut¹, Natalie D.C. Rumampuk², Suzanne Undap², Deiske A. Sumilat²

¹Program Studi Magister Ilmu Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi, Jl. Kampus Unsrat Bahu, Manado 95115 Sulawesi Utara, Indonesia

²Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi, Jl. Kampus Unsrat Bahu, Manado 95115, Sulawesi Utara, Indonesia

*Corresponding author: dmh_mantiri@unsrat.ac.id

Received: 27 January 2021 – Revised: 28 February 2021 – Accepted: 28 February 2021

Abstract: Although heavy metals have relatively low levels in water column and sediments, they will not be degraded and can even be absorbed and accumulated by marine algae. Research on accumulation of heavy metals on algae was done in Kima Bajo Water, North Minahasa Regency. The research objective was to evaluate the accumulation of four heavy metals, arsenic (As), cadmium (Cd), plumbum (Pb), and mercury (Hg), on brown macroalgae *Padina australis*. The alga was introduced and cultivated in the research area using bottom method. The same method was also used in the experiment. One-week acclimatization process was done prior the experiment. Sampling of alga's thallus was carried out every two weeks to measure the concentration of metals. The experiment was terminated after six weeks. Bottom sediment was also collected at beginning of the experiment to measure the metal concentration. The results showed that the heavy metals (As, Cd, Pb, and Hg) were accumulated in the algae. The highest concentration of Cd, Pb, and Hg accumulated in the algae was 0.15 mg/kg wet weight, 3.5 mg/kg wet weight, and 0.009 mg/kg wet weight, respectively. All the concentrations were higher than the initial concentration of each metal. Accumulation of As was also occurred with the highest concentration (1.9 mg/kg wet weight) occurred at fourth weeks; however, it was lower than the initial concentration. The accumulation varied according to type of metals and time; accumulation of Cd, Pb, and Hg were occurred on second weeks of cultivations and As on the fourth weeks. It can be concluded that cultivated alga can accumulate heavy metals.

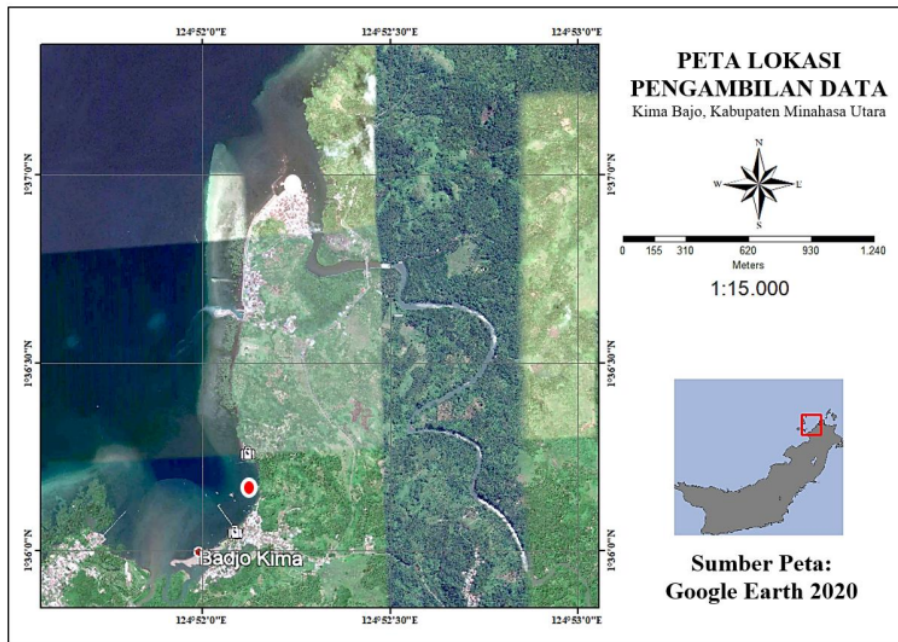
Keywords: macroalgae; *Padina australis*; heavy metal; bioaccumulation; marine pollution

PENDAHULUAN

Alga merupakan organisme autotrof dan penyumbang oksigen terbesar di perairan. Keberadaan alga memiliki fungsi sebagai parameter biologi dan dapat memberikan informasi untuk mengevaluasi keadaan, kualitas, dan kesuburan perairan (Awal *et al.*, 2014).

Lingkungan yang tercemar dapat mempengaruhi pertumbuhan dan metabolisme pada alga (Dawes, 1998). Pada alga jenis tertentu, seperti alga hijau *Ulva* sp. dan *Halimeda opuntia*, alga coklat

Padina australis, yang hidup di perairan Ratatotok, terdeteksi logam berat merkuri, kadmium, arsen, dan timbal (Kepel *et al.*, 2018; Mantiri *et al.*, 2019; Nasprianto *et al.*, 2019). Logam yang masuk ke thallus alga dapat berasal dari sedimen di mana alga tersebut hidup. Walaupun logam berat ditemukan dalam thallus alga, alga tersebut ditemukan tetap hidup dan bertumbuh sepanjang tahun (Mantiri *et al.*, 2019). Dengan demikian, alga merupakan salah satu tumbuhan air yang mampu bertahan pada kondisi perairan yang tercemar (Kepel and Baulu, 2013).



Gambar 1. Lokasi Penelitian di perairan Kima Bajo, Kabupaten Minahasa Utara

Alga mampu mengabsorpsi logam berat karena terdapat gugus fungsi yang dapat mengikat ion logam dalam jaringannya. Gugus fungsi tersebut ialah hidroksil, karboksil, sulfhidril, amina, imadazol, sulfat, dan sulfat yang terdapat pada dinding sel-sitoplasma (Bachtiar, 2007).

Perihal keberadaan logam berat di perairan laut, walaupun konsentrasinya relatif rendah, terutama pada sedimen, tetapi tidak akan mengalami degradasi, bahkan dapat diabsorpsi dan terakumulasi secara biologis oleh organisme termasuk alga laut (Darmono, 1995). Berdasarkan hal ini, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akumulasi logam berat arsenik (As), kadmium (Cd), timbal (Pb), dan merkuri (Hg) pada alga coklat, *Padina australis*, yang dibudidayakan di perairan, dan mendeskripsikan akumulasi logam menurut waktu.

MATERIAL DAN METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Juni sampai dengan Agustus 2020. Lokasi penelitian yaitu di perairan Desa Kima Bajo, Kecamatan Wori, Kabupaten Minahasa Utara (Gambar 1). Lokasi ini berada dekat muara sungai Talawaan Bajo, yang

merupakan sungai yang mengalirkan air dari daerah pertambangan emas rakyat Tatelu.

Persiapan Eksperimen

Eksperimen dirancang pada penelitian ini di mana alga coklat, *P. australis* dibudidayakan di lokasi penelitian. Induk alga diambil dari perairan Tongkaina, perairan dekat dengan lokasi penelitian (berjarak ± 11 km ke arah Selatan dari lokasi penelitian). Metode budidaya yang digunakan ialah metode lepas dasar (*bottom method*) dengan jarak sekitar 2 m. Alga dimasukkan ke dalam wadah budidaya (keranjang) yang dibungkus dengan jaring untuk menghindari hewan pengganggu. Jumlah alga yang digunakan dalam eksperimen sebanyak 10 unit. Budidaya alga berlangsung selama 6 minggu di mana didahului dengan tahapan aklimatisasi selama satu minggu.

Pengamatan dilakukan setiap 2 minggu di mana sampel alga diambil untuk pengukuran akumulasi logam. Jenis logam yang diukur ialah arsen (As), kadmium (Cd), timbal (Pb), dan merkuri (Hg). Pengukuran awal untuk sampel alga dijadikan sebagai patokan (kontrol [K]). Selain alga, pengukuran konsentrasi logam juga diukur pada sedimen perairan di lokasi percobaan; pengukuran hanya dilakukan sekali pada awal percobaan.

Pengambilan Sampel untuk Analisis Logam

Untuk analisis logam, sampel alga diambil sebanyak 3 kali, dengan selang waktu 2 minggu. Sebelum dibawa ke laboratorium untuk pengukuran, untuk menghindari kotoran dan sedimen yang menempel pada *thallus* (bagian sampel yang akan dianalisis), sampel alga dibersihkan dengan aquades menggunakan sikat. Sampel sedimen diambil pada dasar perairan (pada kedalaman substrat 0-6 cm) menggunakan sekop dan dikemas dalam kantong plastik. Semua sampel ditempatkan di dalam *cool box* yang berisi es selama transportasi ke laboratorium Water Laboratory Nusantara (WLN) Manado untuk pengukuran.

Prosedur Pengukuran Logam

Pengukuran logam As, Cd, dan Pb untuk alga dan sedimen mengikuti panduan APHA (2012). Sampel dikeringkan menggunakan *freeze dryer*, dihaluskan menggunakan *ca* porselin. Kemudian, ditimbang sebanyak 2 g dan dimasukkan ke dalam gelas beker 100 ml. Pada sampel alga ditambah 10 ml HNO₃ dan dipanaskan menggunakan *hotplat* pada suhu 85 °C. Ketika volume larutan tersisa 1-2 ml, larutan didinginkan. Setelah itu, ditambahkan 10 ml HNO₃ dan 10 ml HClO₄. Selanjutnya, larutan dihomogenkan dan dipanaskan kembali pada *hotplate* sampai uap HClO₄ hilang. Jika larutan sudah jernih, ditambahkan 100 ml akuades untuk pengenceran, kemudian disaring menggunakan kertas saring 225 µm. Kandungan logam diukur menggunakan peralatan Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES).

Pengukuran logam Hg pada sampel alga dan sedimen mengikuti panduan USEPA (2005). Sampel

dikeringkan dengan cara diangin-anginkan pada suhu ruangan; ditimbang sebanyak 5 g. Kemudian, didestruksi dengan menambahkan 5 ml HNO 65%, 5 ml H₂SO₄ 95%, dan 10 ml KMnO₄ 5%. Setelah itu, dipanaskan dalam oven selama 2 jam pada suhu 60 °C lalu ditambahkan 5 ml K₂S₂O₄ dan didiamkan semalam. Kemudian, ditambahkan hidrosilamoni-um klorida 6 ml dan disaring dengan kertas saring whatman. Kandungan logam diukur menggunakan ICP-OES.

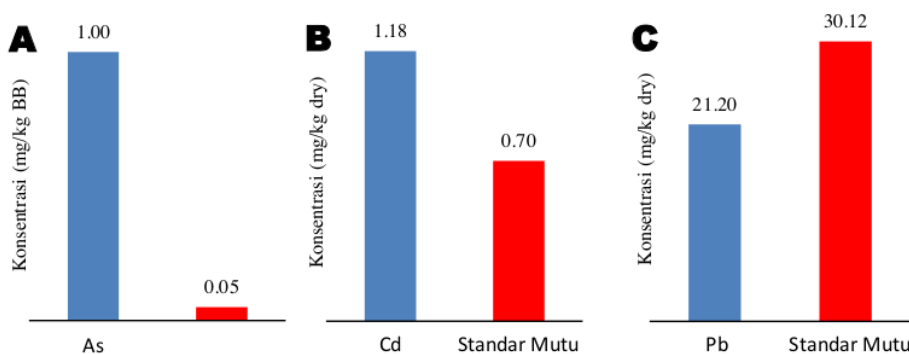
HASIL DAN PEMBAHASAN

Logam As, Cd, Pb, dan Hg diketahui sebagai logam ikutan yang banyak ditemukan pada sisa pengolahan emas, seperti dilaporkan oleh Kepel et al. (2018), Mantiri et al. (2019), dan Nasprianto et al. (2019). Gambar 2A, 2B, dan 2C, berturut-turut, menampilkan akumulasi logam As, Cd, dan Pb pada sedimen di lokasi penelitian. Nampak, konsentrasi logam As dan Cd melebihi standar mutu dari Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 1999). Dibandingkan dengan logam-logam tersebut, logam Hg tidak terdeteksi di lokasi tersebut.

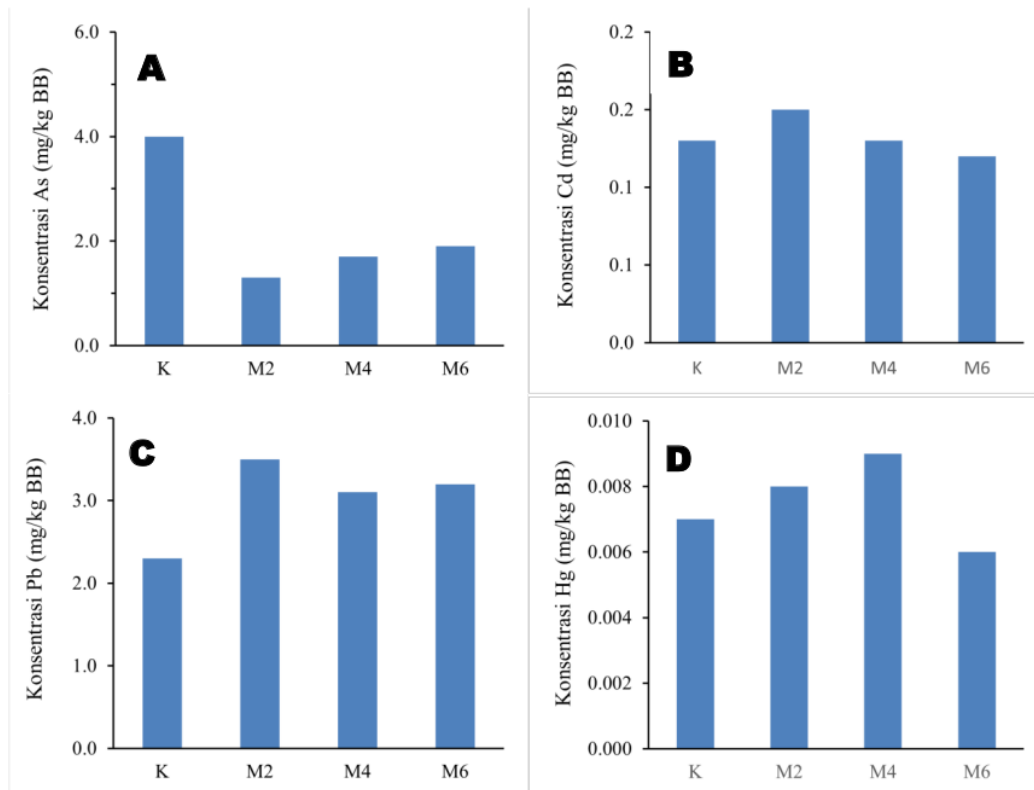
Gambar 3 menampilkan akumulasi logam As, Cd, Pb, dan Hg dalam *thallus* alga coklat, *P. australis*, selama percobaan (6 minggu). Akumulasi masing-masing logam pada alga tersebut selama percobaan dideskripsikan.

Kandungan Logam Arsen (As)

Sampel alga awal telah terdeteksi mengandung As (pengukuran K) dengan konsentrasi berat basah (BB) sebesar 4 mg/kg BB. Pada minggu kedua (M2), menunjukkan penurunan konsentrasi menjadi



Gambar 2. Konsentrasi logam di sedimen di perairan Kima Bajo, Kabupaten Minahasa Utara. A: Arsen (As); B: Kadmium (Cd); C: Timbal (Pb).



Gambar 3. Kandungan logam pada alga *Padina australis* di perairan Kima Bajo, Kabupaten Minahasa Utara. A: arsen (As); B: kadmium (Cd); C: timbal (Pb); D: merkuri (Hg). K: Awal budidaya; M2: minggu kedua; M4: minggu keempat; M6: minggu keenam. BB: berat basah.

1,3 mg/kg BB (Gambar 2A). Manampiring and Keppel (2011) melaporkan adanya peran aktifitas bakteri resisten terhadap Hg di perairan yang dapat mereduksi absorbs logam tersebut masuk kedalam tubuh organisme. Selanjutnya, pada minggu keempat (M4), terjadi peningkatan konsentrasi menjadi 1,7 mg/kg BB. Peningkatan konsentrasi logam arsen pada minggu keempat dan keenam menunjukkan kemampuan alga mengabsorpsi logam As dari lingkungan tempat hidupnya.

Alga dapat mengabsorpsi logam dari kolom air, terutama yang ada pada sedimen, seperti dilaporkan oleh Rumampuk and Wawouw (2015), Kepel et al. (2018), dan Mantiri et al. (2018). Bahkan, dengan mengobservasi menggunakan *Transmission Electron Microscope* (TEM), ditemukan logam pada sel alga (Mantiri et al., 2018).

Peningkatan konsentrasi As terjadi pada minggu keempat dan minggu keenam (Gambar 2A). Menurut penelitian Pantow et al. (2018), ditemukan bakteri *Bacillus* sp., *Streptococcus* sp., *Acetobacter* sp.

dan *Estericia* sp. yang berperan sebagai bakteri resisten As.

Kandungan Logam Kadmium (Cd)

Induk alga yang diambil dari perairan Tongkaina (pengukuran K) telah terdeteksi mengandung logam Cd sebesar 0,13 mg/kg BB. Pada minggu kedua (M2), terjadi peningkatan konsentrasi Cd sebesar 0,15 mg/kg BB. Pada minggu keempat (M4) dan keenam (M6) terjadi penurunan konsentrasi, berturut-turut, menjadi 0,13 mg/kg BB dan 0,12 mg/kg BB (Gambar 2B).

Konsentrasi Cd pada minggu kedua (M2) merupakan proses tereksposnya alga dalam waktu dua minggu pada kondisi lingkungan sekitar perairan Kima Bajo. Peningkatan konsentrasi pada M2 tidak diikuti oleh M4 dan M6. Menurut Pantow et al. (2018), bakteri *Bacillus* sp., *Streptococcus* sp., *Acetobacter* sp. dan *Estericia* sp. berperan sebagai bakteri resisten logam kadmium. Diduga, di lokasi penelitian terdapat bakteri yang resisten terhadap

logam timbal. Bakteri memproduksi enzim untuk memudahkan penetrasi logam ke dalam jaringan organisme (Siswati et al., 2009).

Kandungan Logam Timbal (Pb)

Pengukuran awal (K) sampel alga mengandung logam Pb sebesar 2,3 mg/kg BB. Pengamatan pada minggu kedua (M2), konsentrasi Pb meningkat menjadi sebesar 3,5 mg/kg BB (Gambar 2C). Peningkatan konsentrasi tersebut menunjukkan kemampuan alga mengabsorpsi Pb dari lingkungannya. Namun, pada minggu keempat (M4) terjadi penurunan konsentrasi menjadi 0,13 mg/kg BB.

Peningkatan konsentrasi Pb pada minggu kedua (M2) terjadi juga pada minggu keenam (M6). Seperti pada logam As dan Cd, yang terjadi pada logam Pb diduga disebabkan oleh peran bakteri resisten terhadap logam Pantow et al. (2018).

Kandungan Logam Merkuri (Hg)

Logam Hg terukur pada induk alga sebesar 0,007 mg/kg BB. Pada minggu kedua (M2) terjadi peningkatan konsentrasi Hg sebesar 0,008 mg/kg BB, sampai pada minggu keempat (M4) sebesar 0,009 mg/kg BB (Gambar 2D). Konsentrasi Hg pada M2 merupakan proses tereksposnya alga dalam waktu dua minggu pada kondisi lingkungan sekitar perairan Kima Bajo.

Alga dapat mengabsorpsi logam, baik yang terdapat pada air laut maupun pada sedimen. Rumampuk and Warouw (2015), Kepele et al. (2018), dan Mantiri et al. (2018) melaporkan beberapa jenis logam, termasuk Hg, pada sedimen dan *thallus* alga yang hidup di perairan Kima Bajo.

Peningkatan konsentrasi Hg yang terjadi pada M2 dan M4 tidak diikuti pada M6. Pada M6, Hg mengalami penurunan dari 0,009 mg/kg BB menjadi 0,006 mg/kg BB (Gambar 2D). Hal ini terjadi diduga karena adanya peran bakteri yang resistensi terhadap logam (Pantow et al., 2018).

KESIMPULAN

Akumulasi logam berat (As, Cd, Pb, dan Hg) terjadi pada alga coklat, *P. australis*, yang dibudidayakan di perairan Kima Bajo. Akumulasi bervariasi berdasarkan jenis logam dan waktu di mana akumulasi Cd, Pb, dan Hg terjadi pada minggu kedua dan As terjadi pada minggu keempat.

12 *Ucapan terima kasih.* Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan naskah hasil penelitian untuk publikasi dalam jurnal ilmiah. "Kami menyatakan bahwa tidak ada konflik

kepentingan dengan organisasi manapun mengenai bahan yang didiskusikan dalam naskah ini".

REFERENSI

- 11** APHA (2012) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22th edition. American Public Health Association. New York. pp. 541.
- 6** AWAL, J., TANTU, H. and TENRIAWARU, E.P. (2014) Identifikasi alga (algae) sebagai bioindikator tingkat pencemaran di Sungai Lamasi Kabupaten Luwu. *Dinamika*, 5 (2), pp. 21-34.
- 9** BACHTIAR, E. (2007) *Penelusuran sumber Daya Hayati Laut (Alga) sebagai biotarget industri*. Makalah. Jatinangor: Universitas Padjadjaran
- 3** Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan.
- CCME** (1999) *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Mercury*. Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment. 5 p.
- 21** DARMONO (1995) *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Jakarta: UI-Press.
- 17** DAWES, C.J. (1998) *Marine Botany*. Second Edition. Canada, John Wiley & Sons, Inc. pp. 480.
- 7** KEPELE, R.C. and BAULU, S. (2013) *Makroalga dan Lamun: Keanekaragaman Vegetasi Laut di Maluku Tenggara Barat*. Jakarta: Cahaya Pinaleng.
- KEPELE, R.C., MANTIRI, D.M.H., PARANSA, D. S.J., PAULUS, J.J.H., NASPRIANTO and WAGEY, B.T. (2018) Arsenic content, cell structure, and pigment of *Ulva* sp. from Totok Bay and Blongko waters, North Sulawesi, Indonesia. *AAFL Bioflux*, 11 (3), pp. 765-772.
- MANAMPIRING, A.E. and KEPPEL, B.J. (2011) Studi Populasi Bakteri Resistensi Merkuri di Daerah Aliran Sungai Tondano, Kelurahan Ketang Baru, Manado. *Jurnal Ilmiah Sains*, 11 (1), pp. 26-30.
- MANTIRI, D.M.H., KEPELE, R.C., WAGEY, B.T. and NASPRIANTO (2018) Heavy metal content, cell structure, and pigment of *Halimeda opuntia* (Linnaeus) J.V. Lamouroux from Totok Bay and Blongko Waters, North Sulawesi, Indonesia. *Ecology Environment Conservation Paper*, pp. 1076-1084.
- MANTIRI, D.M.H., KEPELE, R.C., MANOPPO, H., PAULUS, J.J.H., PARANSA D.S. and NASPRIANTO (2019) Metals in seawater, sediment and *Padina australis* (Hauck, 1887) algae in the waters of North Sulawesi. *AAFL Bioflux*, 12 (3), pp. 840-851.

- NASPRIANTO, MANTIRI, D.M.H. and GERUNG, G.S. (2019) Konsentrasi logam pada air, sedimen, dan alga merah *Halimeda opuntia* (Linnaeus) J.V. Lamouroux dari Perairan Teluk Totok dan Perairan Blongko, Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Platax*, 7 (1), pp. 233-242.
- PANTOW, M., KEPEL, B.J. and FATIMAWALI (2018) Isolasi dan identifikasi bakteri resisten arsen pada sedimen di Pesisir Laut Buyat. *Jurnal e-Biomedik (eBm)*, 6 (2), pp. 123-128.
- RUMAMPUK, N.D.C. and WAROUW, V. (2015) Bioakumulasi total merkuri, arsen, kromium, cadmium, timbal di Teluk Totok dan Teluk Buyat, Sulawesi Utara. *Jurnal LPPM Bidang Sains dan Teknologi*, 2 (2), pp. 49-59.
- SISWATI, N.D., INDRAWATI, T. and RAHMAH, M. (2009) Biosorpsi logam berat plumbum (Pb) menggunakan biomassa *Phanerochaete Chrysosporium*. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 1 (2), pp. 67-72.
- USEPA (2005) *Monitored Natural Attenuation of Inorganic Contaminants in Ground Water*. Volume 2: Assessment for Non-Radionuclides Including, Arsenic, Cadmium, Chromium, Copper, Lead, Nickel, Nitrate, Perchlorate, and Selenium. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development. United States Environmental Protection Agency, Ohio.

Accumulation of heavy metals (As, Cd, Pb, Hg) on brown algae, *Padina australis*, cultivated in Kima Bajo Waters, North Minahasa Regency

ORIGINALITY REPORT

19%

SIMILARITY INDEX

16%

INTERNET SOURCES

13%

PUBLICATIONS

9%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to Universitas Sam Ratulangi Student Paper	1%
2	cluin.org Internet Source	1%
3	aura-test.abdn.ac.uk Internet Source	1%
4	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	1%
5	Submitted to Universitas Airlangga Student Paper	1%
6	eprints.ums.ac.id Internet Source	1%
7	Hartarto Sormin, Grevo S. Gerung, Unstain N.W.J. Rembet. "Community structure of seaweed beds in Mantehage Island, North Sulawesi, Indonesia", AQUATIC SCIENCE & MANAGEMENT, 2015 Publication	1%

8	Irma Pulukadan, Rene Ch Keppel, Grevo S Gerung. "A study on bioecology of macroalgae, genus Caulerpa in northern Minahasa Waters, North Sulawesi Province", AQUATIC SCIENCE & MANAGEMENT, 2013 Publication	1 %
9	etheses.uin-malang.ac.id Internet Source	1 %
10	www.scilit.net Internet Source	1 %
11	link.springer.com Internet Source	1 %
12	ejournals.umma.ac.id Internet Source	1 %
13	es.scribd.com Internet Source	1 %
14	Herny Korah, Frans G. Ijong, I Ketut Suwetja. "Salmonella occurrence and myoglobin (mb) in frozen smoked tuna", AQUATIC SCIENCE & MANAGEMENT, 2015 Publication	1 %
15	Submitted to Cambridge Education Group Student Paper	<1 %
16	jurnal.ipb.ac.id Internet Source	<1 %

- | | | |
|----|--|------|
| 17 | Bruce C. Cowell, Clinton J. Dawes. "Seasonal Comparisons of the Phytoplankton and Decline in Water Transparency in the Spring-Fed Rainbow River, Florida", Journal of Freshwater Ecology, 2008
Publication | <1 % |
| 18 | Submitted to Universitas Indonesia
Student Paper | <1 % |
| 19 | Submitted to University of Mauritius
Student Paper | <1 % |
| 20 | docobook.com
Internet Source | <1 % |
| 21 | pt.scribd.com
Internet Source | <1 % |
| 22 | 123dok.com
Internet Source | <1 % |
| 23 | Samuel Opa, Robert Bara, Grevo Gerung, Rizald Rompas, Rosita Lintang, Deiske Sumilat. "Uji aktivitas antibakteri fraksi n-heksana, metanol dan air dari ascidian Lissoclinum sp.", JURNAL PESISIR DAN LAUT TROPIS, 2018
Publication | <1 % |
| 24 | www.mdpi.com
Internet Source | <1 % |
| 25 | Ary Andini, Siti Dzurrotul Ainiah. "Hubungan Kadar Cr dalam Air Tambak terhadap Cr Pada | <1 % |

Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*), Ikan Bandeng (*Chanos chanos*) dan Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) di Kawasan Jabon Sidoarjo", *Medicra (Journal of Medical Laboratory Science/Technology)*, 2018

Publication

26

eprints.uns.ac.id

Internet Source

<1 %

27

mspace.lib.umanitoba.ca

Internet Source

<1 %

28

repository.ipb.ac.id

Internet Source

<1 %

29

Hyeryeong Jeong, Jin Young Choi, Kongtae Ra. "Potentially toxic elements pollution in road deposited sediments around the active smelting industry of Korea", *Scientific Reports*, 2021

Publication

<1 %

30

ejournal.forda-mof.org

Internet Source

<1 %

31

eprints.umsida.ac.id

Internet Source

<1 %

32

garuda.ristekbrin.go.id

Internet Source

<1 %

33

media.neliti.com

Internet Source

<1 %

34

www.coursehero.com

Internet Source

<1 %

35

Ana Marques, David Piló, Susana Carvalho, Olinda Araújo et al. "Metal bioaccumulation and oxidative stress profiles in *Ruditapes philippinarum* – insights towards its suitability as bioindicator of estuarine metal contamination", *Ecological Indicators*, 2017

Publication

<1 %

36

zombiedoc.com

Internet Source

<1 %

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On