

**Indeks kondisi kerang hijau (*Perna viridis*) dan kandungan kadmium**Condition indices of green mussel, *Perna viridis*, and cadmium contentLiestiaty Fachruddin¹, Khusnul Yaqin^{1*},¹Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan, Departemen Perikanan, FIKP,
Universitas Hasanuddin. Jln. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea, Makassar 90245

*e-mail korespondensi : khusnul@gmail.com

Diserahkan 12 Agustus 2019; Diterima: 1 September 2019; Diterbitkan 9 Oktober 2019

Abstrak

Kerang hijau (*Perna viridis*) merupakan *sentinel organism* yang sering digunakan dalam penelitian maupun biomonitoring logam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui korelasi antara beberapa indeks kondisi (IK) kerang hijau dengan Indeks Bioavailabilitas Logam Kerang (IBLK) kadmium. Kerang dikumpulkan dari perairan Mandalle sebanyak 200 ekor. Ukuran panjang cangkang kerang yang dikumpulkan yaitu antara 2,16-8,02 mm. Analisis kandungan kadmium di dalam daging kerang dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Ada sepuluh formula IK yang digunakan dalam penelitian ini. Analisis korelasi antara IK dan IBLK dengan menggunakan uji *Pearson* satu arah. Hasilnya menunjukkan bahwa IK1,IK3,IK6 berkorelasi sedang dan signifikan dengan IBLK. IK2 dan IK9 berkorelasi kuat dan signifikan. IK yang lain tidak berkorelasi secara statistik. Hasil ini menunjukkan bahwa IK2 dan IK9 adalah IK yang sensitif terhadap kandungan logam kadmium sehingga berpotensi digunakan sebagai biomarker.

Kata Kunci : Indeks kondisi,kadmium, biomarker sederhana,kerang hijau, bioavailabilitas.**Abstract**

Green mussels (*Perna viridis*) are sentinel organisms that are often used in research and biomonitoring of metals. The current research aims to study the correlation between the condition index (CI) of green shells and Cadmium Metal/Shell Index. Mussels collected from Mandalle waters were 200. The length of the mussels collected was between 2.16-8.02 mm. Analysis of cadmium content in mussel tissue using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). There are 10 CI formulas used in this study. One-way Pearson test was used as correlation analysis between IK and Metal/Shell Index. The results showed that CI1, CI3, CI6 correlated moderately and significantly with Metal/Shell Index. CI2 and CI9 correlated strongly and significantly with Metal/Shell Index. Other condition indices did not correlate with Metal/Shell Index statistically. These results indicated that CI2 and CI9 are sensitive to cadmium content so that they are potentially used as biomarkers.

Keywords: Condition index, cadmium, simple biomarker, green mussel, Metal/Shell Index.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan kerang sebagai *sentinel organism* dalam biomonitoring lingkungan perairan adalah suatu pilihan yang tepat. Hal ini karena kerang mempunyai karakteristik ekologi dan eknomomi yang memungkinkan untuk menggambarkan realitas bahan pencemar pada habitat di mana mereka hidup dan merupakan bahan pangan yang bernilai eknomis, sehingga ekstrapolasi data dari kerang ke manusia memungkinkan untuk dilakukan (Viarengo & Canesi, 1991; Nicholson & Lam, 2005; Krishnakumar et al., 2018;Yaqin, 2019; Li et al., 2019). Kerang hijau, *Perna viridis*, adalah salah satu jenis kerang yang telah digunakan sebagai *seninel organism* baik dalam kegiatan penelitian maupun biomonitoring di wilayah perairan tropis (Yap et al., 2004a; Yaqin et al., 2011;Yap, 2017; Denil et al., 2017; Krishnakumar et al., 2018; Cai & Wang, 2019; Yaqin, 2019).

Indeks Kondisi pada kerang merupakan indikasi kesehatan kerang (Lucas & Beninger, 1985) atau status nutrisinya (Gabbott & Walker, 1971) yang berbasis pada kondisi fisiologi dan morfologi cangkangnya. Indeks kondisi ini telah digunakan sebagai biomarker sederhana untuk mendeteksi bahan pencemar di perairan (Al-Barwani et al., 2016; Touahri et al., 2016; Blaise et al., 2017;Yaqin et al., 2015; Yaqin, 2019). Paling tidak ada 9 indeks kondisi yang digunakan oleh peneliti dalam bidang ekotoksikologi seperti yang dirangkum oleh Yaqin, (2019).

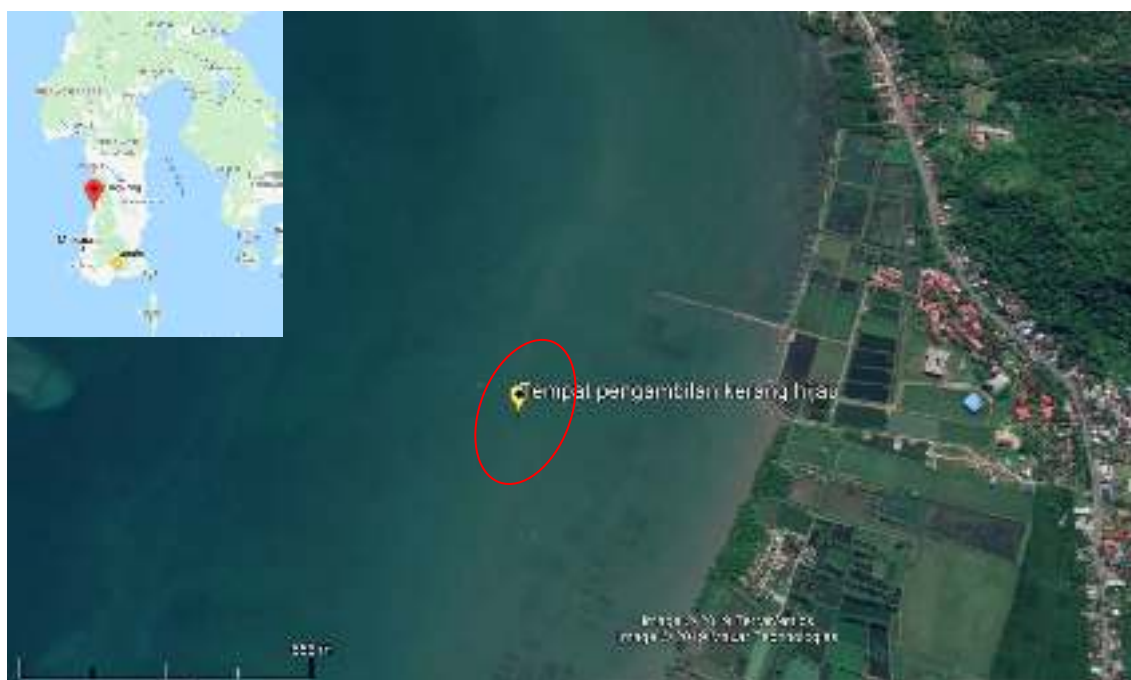
Penelitian ini menelaah berbagai indeks kondisi yang pernah digunakan oleh para peneliti dalam bidang ekotoksikologi dalam kaitannya dengan konsentrasi kadmium pada daging kerang hijau. Hipotesisnya adalah ada beberapa indeks kondisi yang mempunyai relasi dengan konsentrasi kadmium yang karenanya dapat digunakan sebagai indikasi status pencemaran perairan terutama pencemaran kadmium.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Sampling

Di perairan Mandalle, Kabupaten Pangkajene Kepulauan kerang hijau hidup liar menempel pada tali yang digunakan dalam budidaya rumput laut. Kerang dengan ukuran panjang cangkang 2,16-8,02 cm dikumpulkan dari tempat budidaya rumput laut dengan menggunakan tangan (4°34'11.91"S; 119°35'17.45"T) (Gambar 1). Setelah itu kerang ditransfer ke laboratorium dengan menggunakan *cool box* tanpa diberikan air.

Hal ini dilakukan justru untuk menghindari kematian kerang saat pengangkutan (Yaqin, 2019). Kerang hijau dapat hidup di udara lebih dari 24 jam.



Gambar 1. Peta lokasi pengumpulan kerang hijau, *Perna viridisi*. Insert adalah Provinsi Sulawesi Selatan.

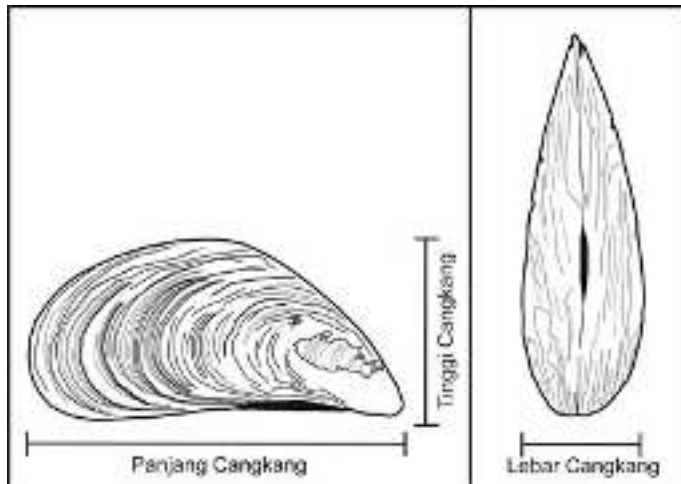
2.2. Preparasi sampel

Setelah sampai di laboratorium kerang dibersihkan dari organisme pengotor yang menempel di cangkangnya. Parameter morfometrik seperti bobot, panjang, tinggi dan lebar cangkang diukur. Bobot ditimbang dengan timbangan dengan tingkat ketelitian 0,01 gram. Panjang, tinggi dan lebar diukur dengan kaliper digital dengan standar terkecil 1 mm. Daging dan cangkang ditimbang bobot basahanya secara terpisah sebelum dibungkus dengan aluminium foil. Setelah itu daging dan cangkang dikeringkan dengan menggunakan oven dengan suhu 80 °C selama 24 jam. Setelah kering, daging dan cangkang ditimbang. Selanjutnya analisis kadmium di dalam daging kerang dilakukan dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*).

2.3 Indeks bioavailabilitas logam dalam kerang.

Indeks bioavailabilitas yang digunakan adalah apa yang disebut oleh Fischer, (1983) sebagai *Metal/Shell-weight index*. Yaqin et al., (2018) menerjemahkan *Metal/Shell-weight index* dengan istilah Indeks Bioavailabilitas Logam dalam Kerang (IBLK). Formula IBLK adalah sebagai berikut:

$$\text{IBLK} = \frac{\text{Konsentrasi logam daging } \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right) \times \text{Bobot Daging Kering (g)}}{\text{Bobot Cangkang Kering (g)}}$$



Gambar 2. Konsensus pengukuran morfometri kerang hijau (Yaqin et al., 2015)

2.3. Indeks Kondisi (IK)

Beberapa indeks kondisi yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada indeks kondisi yang dirangkum dan digunakan oleh Yaqin et al. (2018) dan Fischer, (1983), yaitu :

1. IK1 = Bobot kering daging (g) x 1000/volume internal cangkang. Volume internal cangkang diukur dengan cara mengisi dua cangkang dengan air. Volume air yang diukur dianggap sebagai volume cangkang (Lundebye et al., 1997).
2. IK2 = Bobot kering daging (g) x 1000/kapasitas ruang internal cangkang (KRIC). KRIC diukur dengan cara mengurangi bobot total kerang dengan bobot kering cangkang) (Lundebye et al., 1997).
3. IK3 = Bobot kering daging (g)/(panjang x lebar/tinggi cangkang)(Lundebye et al., 1997).
4. IK4 = Bobot kering daging (g)/ 1000/panjang cangkang (Lundebye et al., 1997)
5. IK5 diukur berdasarkan formula (Freeman, 1974) yaitu bobot daging kering (g)/bobot kering cangkang) x 100.
6. IK6 adalah indeks yang diukur berdasarkan formula (Yap & Al-Barwani, 2012) yaitu Bobot kering daging/volume cangkang x 1000. Volume cangkang menurut (Yap & Al-Barwani, 2012) adalah panjang x lebar x tinggi cangkang.

7. IK7 disebut juga Indeks kondisi cangkang. Ia diukur menurut formula Versteegh, (2012) yaitu bobot basah cangkang/volume luar. Volume luar diukur dengan cara mengalikan konstanta 0,445 dengan panjang x lebar x tinggi.
8. IK8. Versteegh, (2012) juga mengusulkan indeks kondisi yang lain yang dia sebut indeks kondisi tubuh. Ia diukur sebagai bobot total kerang/volume luar .
9. IK9. (Lucas & Beninger, 1985) mengajukan IK dengan formula bobot kering daging/bobot kering cangkang.
10. $IK = \text{Bobot daging kering} / \text{bobot total kering}$ (Fischer, 1983).

2.4. Analisa data

Korelasi antara IBLK dan IK dianalisis dengan menggunakan analisis korelasi *Pearson* satu arah (*one tail*). Kekuatan koefisien korelasi dianalisis berdasarkan kisaran yang disarankan oleh Fowler et al., (2013).

Tabel 1. Nilai kekuatan korelasi (Fowler *et al.*, (2013)).

Nilai koefisien R (positif atau negatif)	Makna Korelasi
0,00– 0,19	Sangat lemah
0,20-0,39	Lemah
0,40-0,69	Sedang
0,70-0,89	Kuat
0,90-1,00	Sangat kuat

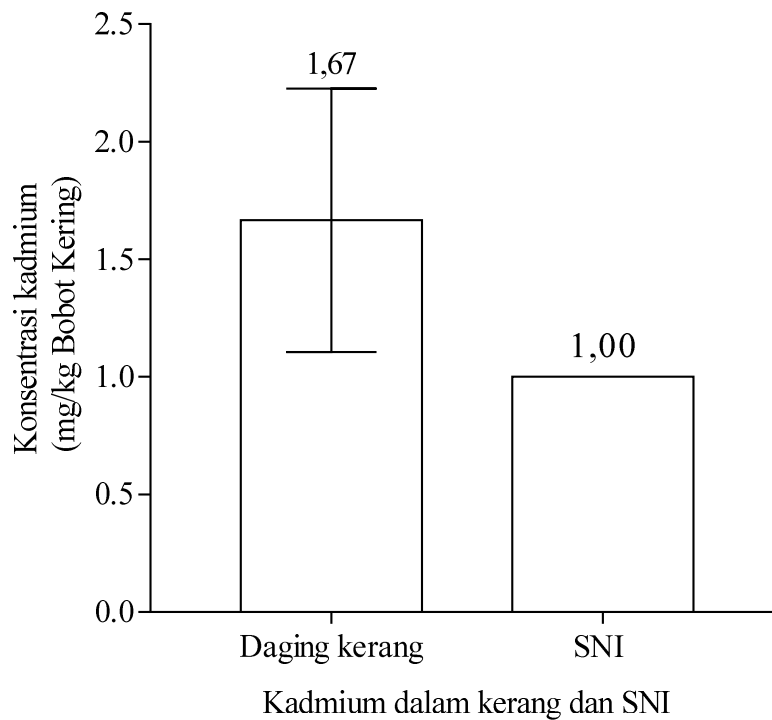
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

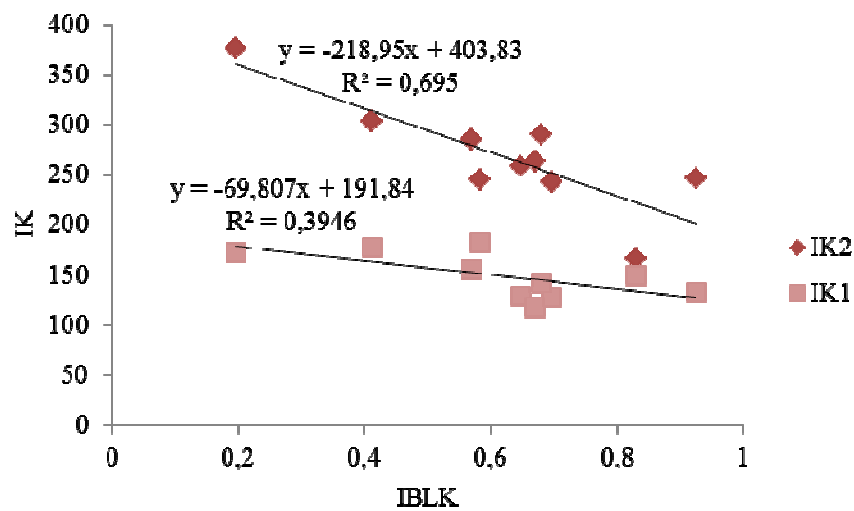
Hasil analisis kandungan kadmium dengan *AAS* menunjukkan bahwa rata-rata kandungan kadmium yaitu 1,666 mg/kg Bobot Kering. Level kandungan ini sudah melampaui batas layak konsumsi yang telah ditetapkan oleh (Badan Standardisasi Nasional, 2009), seperti dapat dilihat di Gambar 3.

Dari sepuluh IK yang digunakan, hanya IK2 dan IK9 yang mempunyai korelasi yang kuat dan signifikan dengan IBLK kadmium. IK1, IK3 dan IK6 mempunyai kekuatan korelasi sedang dan signifikan. Sedangkan IK yang lainnya mempunyai korelasi yang lemah atau sangat lemah dan tentunya tidak signifikan (Tabel 3, Gambar 4, 5 dan 6). Pengorelasiian antara IK dan IBLK dengan menggunakan uji *Pearson* satu

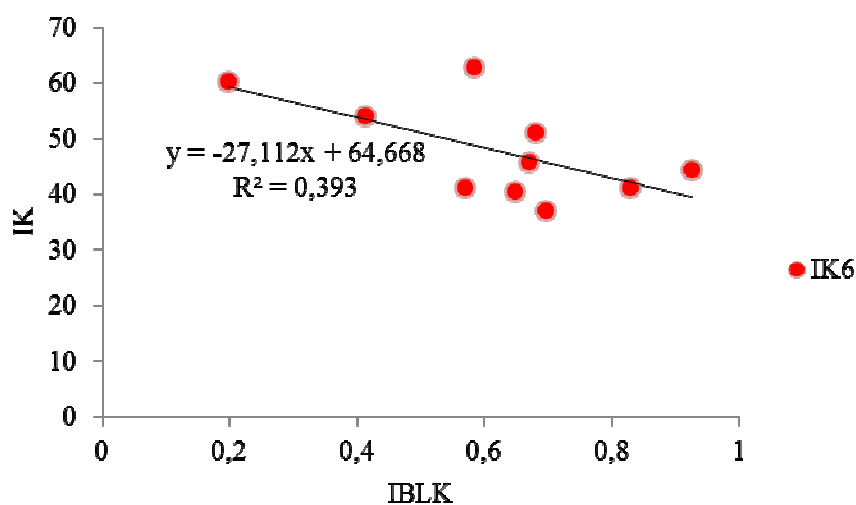
arah, dengan asumsi bahwa IBLK ada pada sumbu X atau faktor independen. Sedangkan, IK di tempatkan pada sumbu Y atau faktor dependen.



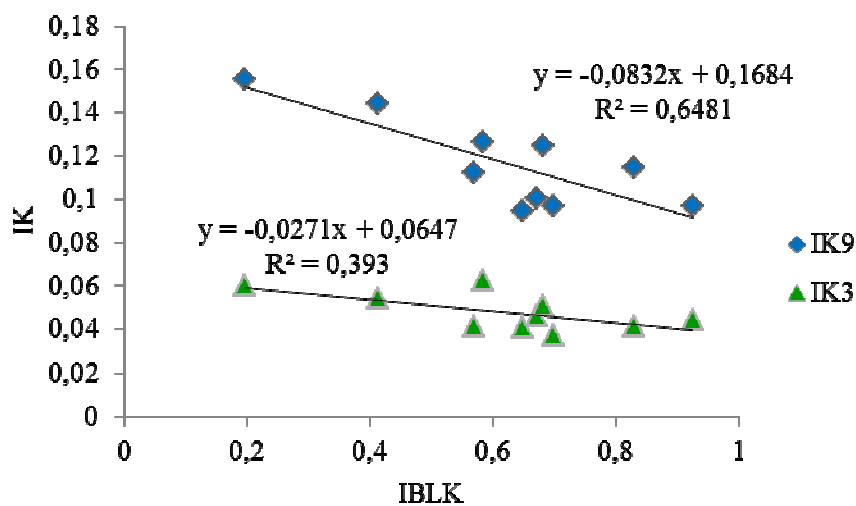
Gambar 3. Konsentrasi kadmium dalam daging kerang dan standard baku mutu SNI (Standard Nasional Indonesia) untuk kadmium di kerang.



Gambar 4. Hubungan antara IK1 dan IK2 dengan IBLK.



Gambar 5. Hubungan antara IK6 dengan IBLK.



Gambar 6. Hubungan antara IK3 dan 9 dengan IBLK.

Tabel 3. Korelasi antara IK dan IBLK serta signifikansinya

IK	r	Kekuatan korelasi dengan IBLK	Signifikan
1	-0,6281	Sedang	Signifikan
2	-0,8337	Kuat	Sangat signifikan
3	-0,6269	Sedang	Signifikan
4	0,3056	Lemah	Tidak signifikan
5	-0,544	Sedang	Tidak signifikan
6	-0,6269	Sedang	Signifikan
7	0,4477	Sedang	Tidak signifikan
8	0,06245	Sangat lemah	Tidak signifikan
9	-0,8051	Kuat	Sangat signifikan
10	-0,1667	Lemah	Tidak signifikan

3.2. Pembahasan

Kadmium adalah logam non esensial bagi organisme perairan. Ia ditemukan di alam dalam kondisi tidak murni yang berikatan dengan beberapa mineral seperti Zn yang dapat mencemari lingkungan. Kadmium adalah bahan yang dibutuhkan dalam bidang industri. Dalam dunia industri, kadmium digunakan dalam pembuatan baterai, plastik, pigmen, pelapisan logam, cat, pestisida dan lain-lain. Bila limbah kadmium mencapai lingkungan, ia dapat terakumulasi di dalam tubuh tanaman dan binatang dan selanjutnya dapat terakumulasi di dalam tubuh manusia baik secara langsung maupun tidak langsung.

Chan (1988) telah meneliti akumulasi kadmium di dalam tubuh kerang hijau, *Perna viridis* dan daya toleransinya terhadap kadmium. Pemaparan kerang hijau terhadap kadmium selama tujuh hari menunjukkan bahwa kerang terus menerus mengakumulasi kadmium sehingga konsentrasi di dalam daging dan media pemeliharaan berjalan linear (Chan, 1988). LC_{50} kadmium untuk kerang hijau yaitu 1,570 mg/l (Chan 1988). Dalam percobaan di laboratorium Yap et al., (2003c) menemukan bahwa kerang yang dipapar dengan kadmium, kandungannya menjadi 10-20 kali lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan kadmium sebelum dipapar. Hal ini menunjukkan adanya bioakumulasi kadmium di dalam daging kerang. Di dalam tubuh kerang kadmium lebih banyak dalam bentuk kompleks kimiawi daripada dalam bentuk ion bebas (Chuang & Wang, 2006). Selain di dalam daging, kadmium juga terdistribusi dan tersimpan di cangkang kerang (Yap et al., 2004b). Cangkang kerang merupakan tempat bagi kerang untuk melakukan detoksifikasi logam (Yap et al., 2003a) selain bisus (Yap, 2012; Zhang et al., 2017).

Masuk dan tersimpannya kadmium di dalam daging dan cangkang kerang dapat memengaruhi pertumbuhan kerang yang merupakan resultante dari pertumbuhan daging dan cangkangnya. Soto et al., (2000) menyebutkan bahwa indeks kondisi kerang menurun ketika dipapar dengan konsentrasi logam yang tinggi. Di lingkungan perairan, Yap et al., (2003b) dan Yap & Al-Barwani (2012) menemukan bahwa semakin tinggi kandungan logam di dalam daging kerang, maka semakin rendah indeks kondisinya. Hal ini karena kadmium mereduksi gen yang bertanggungjawab terhadap sintesis Ca^{2+} (kalsium) di dalam tubuh kerang seperti DNA calmodulin (CaM), sehingga mengganggu secara spesifik pembentukan cangkang yang tentunya akan berpengaruh terhadap pertumbuhan (Si et al., 2018). Kondisi ini diperparah dengan kenyataan bahwa kadmium dapat masuk ke dalam sel melalui kanal Ca^{2+} yang ada pada sel, karena

ukuran dan muatan listrik Cd^{2+} sama dengan Ca^{2+} . Selanjutnya, kanal tersebut gagal dalam membedakan antara Cd^{2+} dan Ca^{2+} , sehingga keberadaan Ca^{2+} di dalam sel digantikan oleh Cd^{2+} (Sutoo et al., 1990). Di sisi lain terganggunya sintesis Ca^{2+} akan mengganggu imunitas kerang melalui terganggunya jalur sinyal Ca^{2+} yang dibutuhkan dalam proses imunitas tubuh kerang (Si et al., 2018). Tidak kalah pentingnya, kadmium juga dapat mengganggu produksi ATP (Sokolova et al., 2005). Gangguan ini akan memengaruhi pertumbuhan atau produksi daging kerang.

Dengan demikian penurunan indeks kondisi ini merupakan indikasi kuat penurunan pertumbuhan dan kesehatan kerang (Lucas & Beninger, 1985). Yap et al., (2003b) memplot korelasi antara kandungan kadmium di dalam daging kerang hijau, *Perna viridis*, dengan indeks kondisi yang mereka sebut (*Shell Thickness Index*) atau jika diterjemahkan dalam bahasa Indonesia adalah indeks ketebalan cangkang¹ yang menunjukkan korelasi negatif yang signifikan dan kuat. Dengan kata lain, semakin tinggi kandungan kadmium, maka semakin rendah indeks kondisinya atau semakin menurun tingkat kesehatan kerang.

Dalam penelitian sekarang ini didapatkan bahwa tidak semua indeks kondisi yang digunakan mempunyai korelasi negatif dan signifikan. Ada indeks kondisi (IK) yang mempunyai hubungan yang lemah, sedang dan kuat (Tabel 3). IK2 dan IK9 menunjukkan korelasi kuat dan signifikan dengan kandungan kadmium yang diterjemahkan dalam bentuk IBLK. Hal ini berarti IK2 dan IK9 merupakan IK yang sensitif dalam merekam keberadaan kadmium dan dapat digunakan sebagai biomarker dalam monitoring lingkungan atau penentuan status perairan.

Yaqin (2019) memostulatkan bahwa hubungan korelasi negatif yang kuat antara indeks kondisi dengan kandungan logam di dalam daging menunjukkan bahwa perairan tempat hidup kerang sudah sangat tercemar oleh logam yang menjadi target monitoring. Berbasis pada postulat itu, maka dapat disebutkan bahwa perairan Mandalle sudah tercemar dengan logam kadmium. Dengan menggunakan pendekatan linearitas hubungan kadmium di media perairan dengan kandungan kadmium di dalam daging kerang hasil penelitian Chan (1988), hal ini berarti ion-ion kadmium yang ada di perairan Mandalle terus menerus diserap oleh kerang dan terakumulasi di dalam tubuhnya sampai batas tertentu, tanpa berakibat kematian terhadap kerang hijau. Hal ini

¹ *Shell Thickness Index* yang digunakan oleh Yap et al., (2003b) kurang tepat diterjemahkan sebagai indeks ketebalan cangkang, karena sebenarnya pengarang tidak mengukur ketebalan cangkang, tetapi mengukur kebundaran cangkang kerang. Oleh karena itu istilah yang tepat adalah indeks kebundaran cangkang.

terjadi karena kerang hijau masih mempunyai kemampuan mengompensasi toksisitas kadmium dengan cara mendetoksifikasi kadmium ke lemak, cangkang dan bisus, sehingga kerang masih dapat bertahan hidup meskipun mengalami penurunan laju pertumbuhan dan kesehatannya. Penerapan postulat di atas didukung oleh kenyataan bahwa kandungan kadmium di dalam daging kerang sudah melebihi batas aman konsumsi yang ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional Indonesia (BSNI) (2009) sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3. Akan tetapi postulat di atas masih perlu diuji dengan penelitian yang lebih kompleks tentang indeks kondisi dalam kaitannya dengan berbagai jenis bahan pencemaran di perairan.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kandungan kadmium pada daging kerang hijau, *Perna viridis*, yang hidup di perairan Mandalle Kabupaten Pangkajene Kepulauan telah melebihi batas layak konsumsi yang ditetapkan oleh (Badan Standardisasi Nasional Indonesia (BSNI), 2009). IK2 dan IK9 adalah IK yang mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai biomarker sederhana untuk mendeteksi pencemaran kadmium.

5. SARAN

Penelitian ini baru penelitian awal untuk mengetahui hubungan antara IK dengan IBLK kadmium, oleh karena itu perlu penelitian yang lebih mendalam untuk membangun penggunaan biomarker sederhana dengan *sentinel organism* kerang hijau. Dalam upaya itu perlu membangun biostasiun pencemaran perairan dengan memanfaatkan organisme *filter feeder* seperti kerang.

PERSANTUNAN

Terima kasih diucapkan kepada nelayan perairan Madalle yang membantu dalam pengumpulan kerang hijau yang menempel pada tali budidaya rumput laut. Terima kasih disampaikan juga kepada mahasiswa yang membantu dalam penelitian ini. Kepada Dr. Hasni Y Azis, Kepada Laboratorium Produktifitas dan Pengelolaan Perairan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin Makassar yang telah memfasilitasi peneliti dengan laboratoriumnya diucapkan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Barwani, S.M. , Arshad, A. , Amin, S.M.N. & Rahman, M.A. 2016. Comparison of condition index in the green-lipped mussel *Perna viridis* between Sebatu and

- Pasir Panjang, Peninsular Malaysia. Journal of environmental biology. 37(4):705–708.
- Badan Standardisasi Nasional. 2009. Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan. No. Standar Nasional Indonesia (SNI 7387:2009). Jakarta. Indonesia.
- Blaise, C., Gagné, F. & Burgeot, T. 2017. Three simple biomarkers useful in conducting water quality assessments with bivalve mollusks. Environmental Science and Pollution Research. 24(36) : 27662–27669.
- Cai, C. & Wang, W.-X. 2019. Inter-species difference of copper accumulation in three species of marine mussels: Implication for biomonitoring. Science of the Total Environment. 692:1029–1036.
- Chan, H.M. 1988. Accumulation and tolerance to cadmium, copper, lead and zinc by the green mussel *Perna viridis*. Marine ecology progress series. Oldendorf. 48(3):295–303.
- Chuang, C.Y. & Wang, W.X. 2006. Co-transport of metal complexes by the green mussel *Perna viridis*. Environmental Science & Technology. 40(14):4523–4527.
- Denil, D.J. , Ransangan, J. , Tan, K.S. & Ching, F.F. 2017. Seasonal variation of heavy metals (Cu, Mn, Ni and Zn) in farmed green mussel (*Perna viridis*) in Marudu Bay, Sabah, Malaysia. International Journal of Aquatic Science. 8:51–60.
- Fischer, H. 1983. Shell weight as an independent variable in relation to cadmium content of molluscs. Marine ecology progress series. Oldendorf. 12(1):59–75.
- Fowler, J. , Cohen, L. & Jarvis, P. 2013. Practical statistics for field biology. John Wiley & Sons.,.
- Freeman, K.. 1974. Growth, mortality and seasonal cycle of *Mytilus edulis* in two Nova Scotian embayments. 1–112 p.
- Gabbott, P.A. & Walker, A.J.M. 1971. Changes in the Condition Index and Biochemical Content of Adult Oysters (*Ostrea edulis* L.) Maintained under Hatchery Conditions. ICES Journal of Marine Science. 34(1):98–105.
- Krishnakumar, P.K. , Qurban, M.A. & Sasikumar, G. 2018. Biomonitoring of Trace Metals in the Coastal Waters Using Bivalve Molluscs. Trace Elements: Human Health and Environment. :153.
- Li, J. , Lusher, A.L. , Rotchell, J.M. , Deudero, S. , Turra, A. , Bråte, I.L.N. , Sun, C. , Hossain, M.S. , Li, Q. & Kolandhasamy, P. 2019. Using mussel as a global bioindicator of coastal microplastic pollution. Environmental pollution. 244:522–533.
- Lucas, A. & Beninger, P.G. 1985. The use of physiological bivalve aquaculture condition indices in marine bivalve aquaculture. Aquaculture. 44:187–200.
- Lundebye, A.-K. , Langston, W.J. & Depledge, M.H. 1997. Stress proteins and condition index as biomarkers of tributyltin exposure and effect in mussels. Ecotoxicology. 6:127–136.
- Nicholson, S. & Lam, P.K.S. 2005. Pollution monitoring in Southeast Asia using biomarkers in the mytilid mussel *Perna viridis* (Mytilidae: Bivalvia). Environment International. 31(1):121–132.
- Shi, W., Guan, X., Han, Y., Guo, C., Rong, J., Su, W., & Liu, G. 2018. Waterborne Cd²⁺ weakens the immune responses of blood clam through impacting Ca²⁺ signaling and Ca²⁺ related apoptosis pathways. Fish & shellfish immunology, 77, 208-213.
- Sokolova, I. M., Sokolov, E. P., & Ponnappa, K. M. 2005. Cadmium exposure affects mitochondrial bioenergetics and gene expression of key mitochondrial proteins in the eastern oyster *Crassostrea virginica* Gmelin (Bivalvia: Ostreidae). Aquatic Toxicology, 73(3), 242-255.

- Soto, M. , Ireland, M.P. & Marigómez, I. 2000. Changes in mussel biometry on exposure to metals: implications in estimation of metal bioavailability in 'Mussel-Watch' programmes. *Science of the Total Environment*. 247(2):175–187.
- Sutoo, D. E., Akiyama, K., & Imamiya, S. 1990. A mechanism of cadmium poisoning: the cross effect of calcium and cadmium in the calmodulin-dependent system. *Archives of toxicology*, 64(2), 161-164.
- Touahri, H.G. , Boutiba, Z. , Benguedda, W. & Shaposhnikov, S. 2016. Active biomonitoring of mussels *Mytilus galloprovincialis* with integrated use of micronucleus assay and physiological indices to assess harbor pollution. *Marine Pollution Bulletin*. 110(1):52–64.
- Versteegh, L. 2012. Assessment of shell thickness in *Mytilus edulis* as a Biomarker for Establishment of Its Health and Thiamine Status. <https://static1.squarespace.com/static/56b6357e01dbaea0266fe701/t/56c433edf85082b4270d9211/1455698927198/Assessment-of-Shell-Thickness-in-Mytilus-edulis-as-a-Biomarker-for-Establishment-of-Its-Health-and-Thiamine-Status.pdf>. diakses tanggal 20 Oktober 2019.
- Yap, C.K. & Al-Barwani, S.M. 2012. A comparative study of condition indices and heavy metals in *Perna viridis* populations at Sebatu and Muar, Peninsular Malaysia. *Sains Malaysiana*. 41(9):1063–1069.
- Yap, C.K. , Ismail, A. & Tan, S.G. 2003a. Can the byssus of green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) from the west coast of Peninsular Malaysia be a biomonitoring organ for Cd, Pb and Zn? Field and laboratory studies. *Environment International*. 29(4):521–528.
- Yap, C.K. , Ismail, A. & Tan, S.G. 2003b. Effects of Total Soft Tissue and Shell Thickness on the Accumulation of Heavy Metals (Cd , Cu , Pb , and Zn) in the Green-Lipped Mussel, *Perna viridis*. *Russian Journal of Marine Biology*. 29(5):323–327.
- Yap, C.K. , Ismail, A. , Tan, S.G. & Omar, H. 2003c. Accumulation, depuration and distribution of cadmium and zinc in the green- lipped mussel *Perna viridis*(Linnaeus) under laboratory conditions. *Hydrobiologia*. 498:151–160.
- Yap, C.K. , Ismail, A. & Tan, S.G. 2004a. Heavy metal (Cd, Cu, Pb and Zn) concentrations in the green-lipped mussel, *Perna viridis* (Linnaeus) collected from some wild and aquacultural sites in the west coast of Peninsular Malaysia. *Food Chemistry*. 84(4):569–575
- Yap, C.K. , Ismail, K. & Tan, S.G. 2004b. Biomonitoring of Heavy Metals in the West Coastal Waters of Peninsular Malaysia Using the Green-lipped Mussel *Perna viridis*: Present Status and What Next? *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 27(2):151–161.
- Yap, 2012. Byssus as a means of metal excretion route and high metal levels in fecal material as metal retention; an experimental laboratory study using *Perna viridis*. *International Jurnal of Advances in Applied Science*. 1(4); 191-196.
- Yap, C.K. 2017. From Mussel Watch Monitoring to Health Risk Assessment: A Public Health Concern. *GSL Journal Public Health Epidemiology*. 1:103.
- Yaqin, K. , Fachruddin, L. & Fitriyani, 2018. Efek ukuran panjang cangkang terhadap Indeks Kondisi, dan Kandungan Logam Timbel Kerang Hijau (*Perna viridis*). *Jurnal Pengelolaan Perairan*. 1(2):27–40.
- Yaqin, K. , Fachruddin, L. & Rahim, N.. 2015. Studi Kandungan Logam Timbal (Pb) Kerang Hijau, *Perna viridis* Terhadap Indeks Kondisinya. *Jurnal Lingkungan Indonesia*. 3:309–317.

- Yaqin, K. , Lay, B. , Riani, E. & Masud, Z. 2011. Hot spot biomonitoring of marine pollution effects using cholinergic and immunity biomarkers of tropical green mussel (*Perna viridis*) of the Indonesian waters. Journal of Toxicology.
- Yaqin, K. 2019. Petunjuk praktis aplikasi biomarker sederhana. First edition. UPT, Unhas Press., Makassar. 54 p.
- Zhang, X. , Ruan, Z. , You, X. , Wang, J. , Chen, J. , Peng, C. & Shi, Q. 2017. De novo assembly and comparative transcriptome analysis of the foot from Chinese green mussel (*Perna viridis*) in response to cadmium stimulation. PloS one. 12(5):e0176677.