

STUDI KANDUNGAN LOGAM TIMBAL (Pb) KERANG HIJAU, *Perna viridis* TERHADAP INDEKS KONDISINYA

Khusnul Yaqin^{*1}, Liestiaty Fachruddin¹, Nur Fadhilah Rahim¹

¹Program Studi Manajemen Sumberdaya Hayati Periran, Jurusan Perikanan,
Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan-Universitas Hasanuddin.

Jl. Perintis Kemerdekaan km 10, Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin, Makassar.

Email: khusnul@gmail.com, Telpn : 085691546955

Abstrak

Logam timbel (Pb) telah diketahui mempunyai efek buruk terhadap organisme perairan. Kerang hijau, *Perna viridis* salah satu organisme yang digunakan sebagai *eco-sentinel organism* dalam program monitoring lingkungan perairan laut juga dipengaruhi kehidupannya oleh logam Pb. Penelitian kandungan logam Pb dan pengaruhnya terhadap kondisi indeks kerang hijau telah dilakukan di dua lokasi yaitu di perairan desa Mandalle, Kabupaten Pangkajene Kepulauan dan pulau Lae-Lae Makassar, Sulawesi Selatan. Penelitian dilakukan dengan cara mengambil sampel kerang hijau, *P. viridis* di perairan Mandalle dan Pulau Lae-lae. Sebanyak 200 kerang dengan ukuran 5 – 7 cm dikumpulkan dari masing-masing lokasi. Untuk pengukuran logam di dalam darah dan daging kerang, kerang dikumpulkan sebanyak 20 ekor, sehingga terkumpul 10 data. Sebelum dilakukan analisis logam, morfometri dan daging kering, kerang diukur untuk penentuan indeks kondisi. Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa daging kerang mengandung logam Pb lebih banyak dibandingkan dengan kandungan Pb yang ada di dalam darah. Kerang dari perairan Mandalle mempunyai kandungan Pb daging yaitu 0,035 mg/kg BK (Berat Kering), sedangkan kandungan Pb daging kerang pulau Lae-Lae yaitu 0,044 mg/kg BK. Dari hasil uji statistik diketahui bahwa kandungan Pb daging kerang Mandalle tidak berbeda nyata dengan yang berasal dari Pulau Lae-Lae. Hal yang berbeda ditemukan pada kandungan Pb di dalam darah yang mana kandungan Pb darah kerang Mandalle lebih rendah secara statistik dibandingkan dengan kandungan darah kerang Pulau Lae-Lae ($p < 0.05$). Perbedaan kandungan logam Pb di dalam darah kerang tidak menunjukkan pengaruhnya terhadap indeks kondisi kerang yang sering dijadikan sebagai biomarker morfologi dalam bidang ekotoksikologi. Akan tetapi ada kecenderungan semakin tinggi kandungan logam Pb di dalam darah, maka akan semakin rendah nilai indeks kondisi.

Kata kunci : Daging kerang, Darah kerang, Indeks Kondisi, Timbel, Biomarker.

Abstract

Lead is well-known metal cause adverse effects on aquatic organisms. Green mussel, *Perna viridis*, is one marine organism that used as a sentinel organism in marine effect monitoring program which also effected by lead. Research on the effect of lead to condition indices of tropical green mussel was conducted. Two hundred green mussels (5-7) were collected from two sites which are coastal zone of Mandalle (Pangkajene Kepulauan District) and Lae-Lae Island, Makassar. For metal analysis in blood and tissue, 20 green mussels were pooled to get 10 data onto blood and tissue. Condition index was determined by measuring weight of tissue and morphometry of shell. The results show that concentration of Pb in tissue higher than that of in blood. The average of Pb concentration of tissue from Mandalle is 0,035 mg/kg DW (Dry Weight) and the concentration of Lae-Lae Island is 0,044 mg/kg DW (Dry Weight). The Statistical analysis shows there is no significant difference between the Pb tissue concentrations of green mussels from Mandalle and Lae-Lae Island. In contrast, there is a significant difference between the concentration Pb of blood of the mussel from Mandalle and Lae-Lae Island. The difference of Pb concentration in blood does not cause effects on condition index that used as morphological biomarker in ecotoxicology. However, there is a trend the higher the content of Pb in the blood, the lower the value of the index conditions.

Keywords: Mussel tissue, Mussel blood, condition index, Lead, Biomarker.

1. Pendahuluan

Kerang hijau, *Perna viridis* adalah kerang dari Famili Mytilidae yang sering dijadikan sebagai *eco-sentinel organism* dalam program monitoring lingkungan perairan laut. (Hariharan *et al.*, 2014; Yaqin *et al.*, 2014; Chandurvelan *et al.*, 2015). Hal ini karena kerang hijau hidup sebagai *filter feeder* yang memfilter partikel-partikel yang ada di perairan tempat mereka hidup. Di samping itu kerang hijau adalah organisme yang mempunyai

pergerakan yang minimal di perairan atau yang dikenal dengan *sedentary animal*, sehingga tidak dimungkinkan menghindari bahan pencemar yang mencemari lingkungan hidupnya. Nicholson, *et al.*, (2005) menyebutkan bahwa kerang hijau mempunyai enzim detoksifikasi yang kurang dibandingkan dengan hewan vertebrata, sehingga memungkinkan untuk mengamulasi bahan pencemar persisten seperti logam lebih bagus daripada hewan vertebrata. Tiga faktor di atas yaitu *filter feeder*, *sedentary*

animal dan kurangnya enzim detoksifikasi menjadikan kerang mudah untuk dianalisis bioavailabilitas kandungan logamnya, sehingga terdapat hubungan yang rasional antara kandungan polutan di dalam tubuh dan lingkungan yang sekitarnya (Phillips and Rainbow, 1993). Hal ini menjadi alasan kuat mengapa kerang hijau sangat ideal dijadikan sebagai *eco-sentinel organism*.

Karakteristik kerang yang disebutkan di atas menstimulasi penelitian-penelitian ekotoksikologi tentang biomarker yang memanfaatkan kerang hijau sebagai *eco-sentinel organism* (Yap *et al.*, 2002a; Yap, *et al.*, 2003a; Yap, *et al.*, 2003b; Yap, *et al.*, 2003c; Yap, *et al.*, 2004a; Yap *et al.*, 2004b; Yap, *et al.*, 2005; Yap, *et al.*, 2006; Wu dan Wang, 2010; Yaqin, *et al.*, 2011a; Yaqin *et al.*, 2011b; Putri *et al.*, 2012; Chandurvelan, *et al.*, 2015;). Salah satu biomarker yang digunakan adalah biomarker morfologi yang diekspresikan sebagai indeks kondisi (Yap *et al.*, 2002a). Indeks kondisi awalnya digunakan oleh peneliti dalam bidang budidaya organisme perairan (Lucas dan Beninger, 1985). Seiring dengan meningkatnya kesadaran terhadap pentingnya pemantauan lingkungan perairan, maka indeks kondisi digunakan sebagai biomarker dalam bidang ekotoksikologi (Lundebye, *et al.*, 1997; Yap *et al.*, 2002a; Yap *et al.*, 2008; Yap dan Barwani, 2012; Eugene *et al.*, 2013).

Di wilayah Indonesia Timur khususnya Sulawesi Selatan belum banyak penelitian yang dilakukan untuk mengetahui keterkaitan antara kandungan logam di dalam kerang hijau, *Perma viridis* dengan indeks kondisinya. Sebagian besar penelitian yang menggunakan kerang sebagai *eco-sentinel organism* berfokus pada seberapa besar kandungan logam di daging atau cangkang kerang, tanpa diteruskan pada apakah kandungan logam itu berpengaruh pada kehidupan kerang. Hasil penelitian yang dipaparkan dalam makalah ini bertujuan untuk mengetahui apakah kandungan logam timbel (Pb) yang ada di dalam daging dan darah kerang dapat memengaruhi indeks kondisinya.

2. Bahan dan Metode.

Kerang hijau sebanyak 400 ekor dengan ukuran 5-7 cm dikumpulkan dengan tangan dari dua lokasi yaitu perairan desa Mandalle, Kabupaten Pangkajene Kepulauan (Pangkep) dan Pulau Lae-Lae Makassar (Gambar 1) pada bulan Maret- Mei 2015. Sampel dibawa ke Laboratorium Produktivitas dan Kualitas Air Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin. Selanjutnya kerang diukur morfometrinya, yaitu panjang, lebar, tinggi, dan bobot daging basah dan kering. Analisis logam Pb di dalam daging dan darah dilakukan dengan menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

0948462560

Indeks Kondisi

Dalam penelitian ini digunakan dua indeks kondisi yaitu :

1) Berat daging kering (g)/ (panjang x lebar/tinggi cangkang) (Lundebye, 1997).

2) Berat daging kering (g) x 1000/panjang cangkang (Lundebye, 1997)

Pengukuran panjang, lebar dan tinggi cangkang diukur mengikuti konvensi pengukuran cangkang kerang sebagaimana yang tampak pada gambar 2.

3. Analisis data

Untuk mendeterminasi perbedaan nilai indeks kondisi dan kadar logam Pb dari masing-masing lokasi digunakan uji *T student*. Analisis korelasi antara kandungan logam Pb di dalam daging dan darah kerang dengan indeks kondisi dilakukan dengan menggunakan analisis korelasi *Pearson*.

4. Hasil dan Pembahasan

a. Hasil

Kandungan logam Pb

Hasil perhitungan data logam Pb secara statistik menunjukkan bahwa kandungan logam di dalam daging kerang lebih tinggi dibandingkan Pb di dalam darahnya ($p < 0.05$) (Gambar 3). Akan tetapi tidak ada perbedaan yang nyata antara kandungan logam Pb di dalam daging kerang yang hidup di perairan Mandalle dan Pulau Lae-Lae ($p > 0.05$) (Gambar 4), meskipun ada kecenderungan kandungan Pb daging kerang dari Pulau Lae-Lae lebih besar. Kecenderungan ini diafirmasi oleh kandungan logam Pb di dalam darah kerang yang mana kandungan Pb di dalam kerang yang berasal dari Pulau Lae-Lae lebih besar secara statistik dibandingkan Pb di dalam darah kerang dari perairan Mandalle ($p < 0.05$) (Gambar 5).

Rata-rata kandungan Pb di dalam daging kerang yang hidup di perairan Mandalle yaitu 0,035 mg/kg BK, sedangkan Pb daging kerang dari Pulau Lae-lae yaitu 0,044 mg/kg BK. Pb pada darah kerang yang hidup di perairan Mandalle dan Pulau Lae-Lae masing-masing yaitu 0,0097 dan 0,015 mg/l.

Indeks Kondisi

Dari hasil perhitungan statistik indeks kondisi I dan II dari kerang yang hidup di perairan Mandalle dan Pulau Lae-Lae tidak menunjukkan perbedaan yang nyata ($p > 0,05$) (Gambar 6 dan 7). Meskipun secara deskriptif menunjukkan bahwa IK 1 dan 2 kerang yang hidup di perairan Lae-Lae sedikit lebih besar dibandingkan dengan IK 1 dan 2 kerang yang hidup di Mandalle.

Indeks kondisi I (IK I) kerang yang hidup di perairan Mandalle dan Pulau Lae-Lae masing-masing yaitu 4,23 dan 4,62. Sedangkan Indeks kondisi II (IK II) kerang yang hidup di perairan Mandalle yaitu 1449.89 dan IK II kerang yang hidup di perairan Pulau Lae-Lae yaitu 1554,14.

Korelasi kandungan logam dan indeks kondisi.

Korelasi antara kandungan Pb di dalam daging dan indeks kondisi I dan II kerang hijau yang hidup di perairan Mandalle masing-masing mempunyai nilai R 0.609 dan 0.650

(Gambar 8 dan 9). Sedangkan nilai R korelasi kandungan Pb dalam daging dan indeks kondisi I dan II kerang hijau yang hidup di perairan Lae-Lae masing-masing adalah -0,363 dan -0,374 (10 dan 11). Hal ini menunjukkan bahwa indeks kondisi kerang yang hidup di perairan Mandalle mempunyai kekuatan korelasi sedang dan berbanding lurus dengan konsentrasi Pb di dagingnya. Hal sebaliknya terjadi pada kerang yang hidup di perairan Lae-Lae yang mana indeks kondisinya berkorelasi negatif dan lemah dengan kandungan Pb di dalam daging.

Korelasi Pb di dalam darah dengan indeks kondisi I dan II kerang hijau yang hidup di perairan Mandalle menunjukkan hal yang berbeda dengan daging kerang, yang mana korelasinya nampak berbanding terbalik dan berkekuatan sedang. Nilai R-nya masing-masing yaitu -0,602 dan -0,557 (Gambar 12 dan 13). Korelasi Pb-darah kerang yang hidup di perairan Pulau Lae-Lae dengan indeks kondisi I dan II berkekuatan lemah dan berbanding terbalik. Nilai R-nya masing-masing adalah -0,325 dan -0,377 (Gambar 14 dan 15).

b. Pembahasan

Sebagian besar penelitian tentang kandungan logam di dalam kerang dilakukan pada bagian tubuh yang lunak seperti insang, kaki, mantel, gonad, viscera, otot, bisus dan bagian yang keras seperti cangkang (Yap, *et al.*, 2004a; Yap *et al.*, 2006) atau total daging kerang (Yaqin *et al.*, 2014). Secara spesifik Yap *et al.*, (2004a) meneliti kandungan Pb di dalam jaringan lunak tubuh kerang hijau dan menemukan bahwa kandungan Pb di perairan yang terkontaminasi, urutan organ yang mempunyai kandungan Pb dari terbesar ke terkecil adalah sebagai berikut; bisus> insang>mantel>otot>kaki> viscera> gonad. Sedangkan urutan kandungan Pb di dalam organ kerang dari daerah yang dianggap tidak terkontaminasi yaitu bisus>mantel> viscera > insang > otot> gnad> kaki.

Pada penelitian sekarang ini logam Pb diukur pada jaringan lunak secara keseluruhan atau total daging kerang dan darahnya. Dari hasil uji T-Student diketahui bahwa kandungan Pb di dalam daging lebih besar dibandingkan yang ada di dalam darahnya (Gambar 3). Hal ini menunjukkan bahwa daging lebih banyak menyerap dan mengakumulasi logam dibandingkan dengan darah kerang. Rocha *et al* (2015) menunjukkan bahwa logam kadmium di dalam daging kerang *Mytilus gallprovincialis* lebih besar konsentrasinya dibandingkan dengan logam kadmium yang ada di dalam darah setelah pemaparan selama 14 hari dengan kadmium. Kerang biru, *Mytilus edulis* yang merupakan kerabat dari kerang hijau mengakumulasi logam Pb 23.5 % dari fitoplankton dan 29 % dari Pb yang larut di dalam perairan di mana kerang itu hidup (Schulz-Baldes, 1974). Pb yang terikat pada fitoplankton akan menjadi bagian dari daging melalui proses pencernaan, sedangkan selebihnya yang larut dalam air menjadi bagian sirkulasi darah kerang dan akan didistribusi ke organ-organ lunak kerang seperti hepatopankreas, mantel, dan ginjal. Dengan demikian daging kerang menerima input Pb terlarut dalam air melalui darah dan partikel Pb melalui jalur traktus digestivus.

Rendahnya Pb di dalam darah kerang bila dibandingkan dengan Pb di dalam daging juga disebabkan oleh masa tinggal logam Pb di dalam darah kerang sangat singkat, hanya beberapa jam saja setelah kerang terekspos dengan logam. Setelah itu kadar logam di dalam darah menjadi sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi logam di perairan (Schulz-Baldes, 1974).

Marigomez *et al.*, (2002) membuat model masuknya Pb ke dalam tubuh kerang air tawar (*Dreissena polymorpha*) dengan memodifikasi model yang dibuat oleh Giamberini (1993). Setelah memasuki sifon inhalant, Pb masuk ke dalam insang. Pb yang terlarut langsung berikatan dengan granulosit dan ligan plasma darah, sedangkan Pb dalam bentuk partikel masuk ke dalam saluran pencernaan bersama dengan makanan yang akan diproses di dalam sel-sel pencernaan. Selanjutnya Pb ditransfer melalui granulosit dan plasma darah ke jantung, ginjal, hepatopankreas, dan diteruskan ke sel glandula pericardial, nefrosit, dan sel pencernaan. Setelah itu, logam Pb dieliminasi melalui sifon exhalant dengan tiga cara: 1) Pb dikeluarkan melalui bahan buangan dari nefrosit sebagai komponen urin; 2) Pb diekskresikan sebagai feses melalui proses di lisosom yang ada di dalam sel-sel pencernaan; 3) Pb dikeluarkan dalam bentuk urin dan feses sebagai hasil diapedesis granulosit yang menyebrang ke sel-sel epitel hematopankreas, saluran pencernaan, jantung dan ginjal. Di samping itu, Pb mungkin menjadi bagian dari cangkang melalui interaksi antara granulosit dan sel-sel epitel mantel yang juga melalui diapedesis granulosit lewat cavum pallial. Pada kerang hijau yang mempunyai bisus, logam diekskresikan ke bisus (Yap *et al.*, 2006). Model ini juga memperkuat eviden yang dicatat dalam penelitian sekarang ini bahwa Pb di dalam daging lebih besar konsentrasinya dibandingkan yang ada di dalam darah.

Besarnya kandungan logam Pb pada daging kerang baik yang hidup di perairan Mandalle maupun Pulau Lae-Lae Makassar belum melebihi kandungan logam Pb yang dapat mengganggu kesehatan manusia menurut BNSI (2009) sebesar 1,5 mg/kg BK. Kandungan logam Pb kerang hijau di perairan Mandalle dan Pulau Lae-lae pada penelitian saat ini lebih kecil dibandingkan dengan hasil penelitian tahun 2012 (Yaqin, *et al.*, 2014).

Pb di dalam daging kerang yang berasal dari perairan Mandalle tidak berbeda secara statistik dengan yang pada kerang yang hidup di perairan Pulau Lae-Lae, meskipun ada kecenderungan bahwa Pb yang ada di perairan Pulau Lae-Lae lebih besar konsentrasinya dibandingkan dengan yang ada di perairan Mandalle (Gambar 4). Kecenderungan itu di dukung oleh eviden Pb di dalam darah. Ada perbedaan yang nyata antara Pb di dalam darah antara kerang yang hidup di perairan Mandalle dengan kerang yang hidup di perairan Pulau Lae-Lae. Pb di perairan Pulau Lae-Lae konsentrasinya lebih besar bila dibandingkan dengan yang ada di dalam darah kerang yang hidup di perairan Mandalle.

Apakah perbedaan konsentrasi Pb di dalam darah kerang hijau yang hidup di perairan Mandalle dan perairan Makassar memberi pengaruh pada indeks kondisi kerang? Dari analisis statistik terhadap rata-rata indeks kondisi I dan Indeks kondisi II kerang hijau yang hidup di perairan

Mandalle dan perairan Pulau Lae-Lae menunjukkan tidak adanya perbedaan yang nyata. Dari sudut pandang ini tampaknya bahwa perbedaan Pb yang ada di dalam darah tidak menunjukkan pengaruhnya terhadap kondisi kesehatan kerang yang diukur dengan indeks kondisi. Akan tetapi, bila kita lihat dari sudut pandang hubungan antara konsentrasi logam Pb di dalam darah dengan indeks kondisi, dan konsentrasi logam Pb di dalam daging dengan indeks kondisi, maka kita akan mendapati bahwa semakin tinggi kandungan Pb di dalam darah, semakin rendah nilai indeks kondisinya. Hal yang sebaliknya terjadi pada hubungan antara konsentrasi Pb di dalam daging dengan indeks kondisi, yang mana semakin tinggi konsentrasi Pb di dalam daging, maka semakin tinggi indeks kondisinya. Dua model hubungan itu terjadi pada pada kerang hijau yang hidup di perairan Mandalle yang relatif tidak tercemar (Yaqin, *et al.*, 2014).

Segera setelah masuk di dalam darah, logam akan didistribusikan ke berbagai organ (daging) kerang hingga pada level yang tidak toksik di dalam darah kerang. Pada beberapa bagian daging kerang, logam akan diakumulasi dan sebagiannya akan dieliminir melalui ginjal dan hepatopankreas. Hubungan antara Pb di dalam darah kerang yang berbanding terbalik dengan indeks kondisi menunjukkan bahwa pertumbuhan kerang tidak seiring dengan banyaknya logam yang terikat di dalam darah. Hal ini karena darah kerang menyerap logam lebih cepat dibandingkan daging kerang (Robinson & Ryan, 1988) dan masa tinggal logam di dalam darah lebih cepat daripada logam di dalam daging. Konsekuensinya konsentrasi logam di dalam darah tidak bertambah seiring dengan pertumbuhan kerang. Hal yang berbeda terjadi pada daging kerang. Logam yang masuk ke dalam daging akan lebih lama disimpan di dalam daging sedemikian sehingga konsentrasi logam berbanding lurus dengan pertumbuhan kerang.

Pertumbuhan kerang yang direfleksikan oleh indeks kondisi yang berjalan seiring dengan jumlah logam yang diakumulasi di dalam daging terjadi di daerah yang kurang kadar bahan pencemarnya atau tidak tercemar, sebagaimana yang ada di perairan Mandalle. Yap & Barwani (2012) menemukan bahwa indeks kondisi kerang hijau yang hidup di daerah yang bersih lebih tinggi dibandingkan dengan indeks kondisi kerang yang hidup di daerah yang lebih tercemar. Pada perairan yang tercemar, Ismail dan Kong (1999) mengamati bahwa terdapat hubungan yang berbanding terbalik antara indeks kondisi dan konsentrasi Pb di dalam tubuh kerang hijau. Menariknya pada penelitian sekarang ini indeks kondisi kerang hijau yang hidup di perairan Pulau Lae-Lae mempunyai hubungan yang lemah atau tidak erat dengan konsentrasi logam Pb baik yang ada di dalam darah maupun daging. Hubungan yang lemah ini mungkin merupakan refleksi dari respon biologis kerang hijau dalam bentuk indeks kondisi terhadap perairan yang cenderung tercemar atau tercemar sedang. Pada perairan yang relatif bersih atau tercemar, respon biologis dalam bentuk indeks kondisi akan tampak menonjol, yaitu berbanding lurus di daerah yang bersih atautkah berbanding terbalik di daerah yang tercemar. Akan

tetapi pada perairan yang tercemar moderat atau cenderung tercemar seperti di perairan Pulau Lae-Lae, respon biologis dari suatu populasi tidak tampak jelas, sebagian individu yang lemah lebih cenderung mengalami penurunan indeks kondisi sedangkan organisme yang masih sehat cenderung mengalami peningkatan indeks kondisi. Akibatnya, hubungan antara konsentrasi logam dan indeks kondisi tidak jelas atau lemah.

Dari fenomena di atas dapat dihipotesiskan bahwa hubungan antara indeks kondisi dan konsentrasi logam terutama logam Pb di dalam daging kerang dapat digunakan untuk mengklasifikasi status perairan. Jika hubungannya berbanding lurus, maka perairan tempat hidup kerang tergolong relatif bersih. Sebaliknya jika hubungannya berbanding terbalik, maka perairan itu tergolong tercemar. Terakhir, jika hubungan antara keduanya lemah, maka perairan di mana kerang hijau hidup tergolong tercemar sedang. Akan tetapi hipotesis ini masih membutuhkan penelitian yang lebih dalam dan detail baik secara *in vivo* maupun *in situ*.

5. Kesimpulan

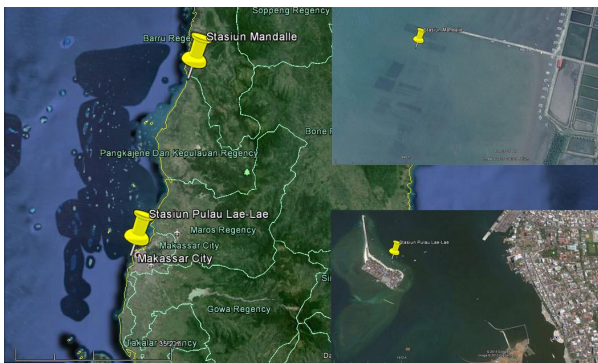
Dari hasil penelitian ini disimpulkan bahwa daging kerang mengandung logam Pb lebih banyak dibandingkan dengan kandungan Pb yang ada di dalam darah. Kerang dari perairan Mandalle mempunyai kandungan Pb yang tidak berbeda nyata dengan kandungan Pb daging kerang pulau Lae-Lae. Hal yang berbeda ditemukan pada kandungan Pb di dalam darah yang mana kandungan Pb darah kerang Mandalle lebih rendah dibandingkan dengan kandungan darah kerang Pulau Lae-Lae. Perbedaan kandungan logam Pb di dalam darah kerang tidak menunjukkan pengaruhnya terhadap indeks kondisi kerang yang sering dijadikan biomarker morfologi dalam bidang ekotoksikologi. Akan tetapi ada kecenderungan semakin tinggi kandungan logam Pb di dalam darah, maka akan semakin rendah nilai indeks kondisi. Hubungan antara indeks kondisi dengan konsentrasi logam Pb secara hipotetik dapat dijadikan sebagai alat untuk mengklasifikasikan status perairan.

Daftar Pustaka

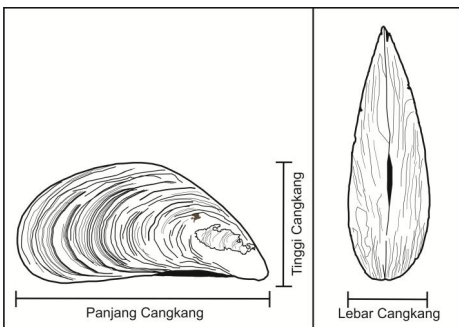
- BNSI. 2009. Batas maksimum cemaran logam berat didalam pangan. http://sertifikasibbia.com/upload/logam_berat.pdf. diunduh tanggal 25 April 2014.
- Chandurvelan, R., Marsden, I. D., Glover, C. N., & Gaw, S. 2015. Assessment of a mussel as a metal bioindicator of coastal contamination: Relationships between metal bioaccumulation and multiple biomarker responses. *Science of The Total Environment*, 511, 663-675.
- Eugene Ng, Y. J., Yap, C. K., Zakaria, M. P., & Tan, S. G. 2013. Assessment of Heavy Metal Pollution in the Straits of Johore by Using Transplanted Caged Mussel, *Perna viridis*. *Pertanika J Sci Technol*, 21(1).
- Giamberini L. 1993. Etude des me'canismes de transport et de de'toxication des me'taux lourds chez la moule d'eau douce *Dreissena polymorpha*. Ro'le des he'mocytes et des organes du syste'me excre'teur (histologie, ultrastructure, microanalyse). Doctorat de l'Universite' de Metz, France.
- Hariharan, G., Purvaja, R., & Ramesh, R. 2014. Toxic Effects of Lead on Biochemical and Histological Alterations in Green Mussel (*Perna viridis*) Induced by Environmentally Relevant Concentrations. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 77(5), 246-260.
- Ismail, A., & Kong, Y. C. 1999. The relationship of heavy metals and condition indices of green-lipped mussel *Perna viridis* from contaminated and uncontaminated environments. Malaysian Science & Technology Congress '99. Symposium AJ Agriculture, Biology, Marine, Medicine, Social Science, Basic Sciences. 25-27 October, 1999. Kuala Lumpur
- Lucas, A., & Beninger, P. G. 1985. The use of physiological condition indices in marine bivalve aquaculture. *Aquaculture*, 44(3), 187-200.
- Lundebye AK, Langston AW, Depledge MH. 1997. Stress proteins and condition index as biomarkers of tributyltin exposure and effect in mussels. *Ecotoxicology* 6, 127-136.
- Marigomez, I., Soto, M., Cajaraville, M. P., Angulo, E., & Giamberini, L. 2002. Cellular and subcellular distribution of metals in molluscs. *Microscopy research and technique*, 56(5), 358-392.
- Nicholson S, & Lam PKS. 2005. Pollution monitoring in Southeast Asia using biomarkers in the mytilid mussel *Perna viridis* (Mytilidae: Bivalvia). *Environment International*, 31(1), 121-132.
- Phillips, D. J. H. and Rainbow, P. S.: 1993, *Biomonitoring of Trace Aquatic Contaminants*, Elsevier Scientific Publishers Limited, London, pp. 371.
- Putri LSE, Prasetyo AD, & Arifin Z. 2012. Green mussel (*Perna viridis* L.) as bioindicator of heavy metals pollution at Kamal estuary, Jakarta Bay, Indonesia. *Journal of Environmental Research And Development Vol*, 6(3); 389-396.
- Robinson WE, Ryan DK. 1988. Transport of cadmium and other metals in the blood of the bivalve mollusc *Mercenaria mercenaria*. *Mar Biol* 97:101-109.
- Rocha, T. L., Gomes, T., Pinheiro, J. P., Sousa, V. S., Nunes, L. M., Teixeira, M. R., & Bebianno, M. J. 2015. Toxicokinetics and tissue distribution of cadmium-based Quantum Dots in the marine mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Environmental Pollution*, 204, 207-214.
- Schulz-Baldes, M. 1974. Lead uptake from sea water and food, and lead loss in the common mussel *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, 25(3), 177-193.
- Wu H, & Wang WX. 2010. NMR-based metabolomic studies on the toxicological effects of cadmium and copper on green mussels *Perna viridis*. *Aquatic toxicology*, 100(4), 339-345.
- Yap CK, & Al-Barwani SM. 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 CK, Ismail A, Tan SG, Omar H. 2003a. Accumulation, depuration and distribution of cadmium and zinc in the green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) under laboratory conditions. *Hydrobiologia* 498: 151-160.
- Yap CK, Isamil A, Tan SG. 2003b. Concentrations of Cd, Cu, Pb and Zn in different parts of byssus of green-lipped Mussel *Perna viridis* (Linnaeus). *Paskitan Journal of Biological Science*. 6: 789-792.
- Yap, C. K., Ismail, A., Tan, S. G., and Omar, H. 2003c. Accumulation, depuration and distribution of cadmium and zinc in the green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) under laboratory conditions. *Hydrobiologia*, 498(1-3), 151-160.
- Yap CK, Ismail A, Tan SG, Ismail AR. 2004a. Assessment of different soft tissues of the green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) as biomonitoring agents of Pb: field and laboratory studies. *Water, Air, and Soil Pollution* 153: 253-268, 2004.
- Yap CK., Ismail, A., & 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 Journal of Tropical Agricultural Science*, 27(2), 151-161.
- Yap CK, Ismail A, Tan SG. 2005. Cadmium, copper, lead and zinc levels in the green-lepped mussel *Perna viridis* (L) from the West Coast of Peninsular Malaysia: safe as food?. *Pertanika Journal Tropical Agricultural Science*. 28: 41-47.
- Yap CK, Ismail SG, Tan HO, Rahim IA. 2006. Could the occurrence of shell deformities in the green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus), collected from the west coast of peninsular Malaysia, be related to heavy Metal contamination ?
- Yap CK, Ismail SG, Tan HO. 2002a. Occurrence of Shell Deformities in Green-Lipped Mussel *Perna viridis* (Linnaeus) Collected from Malaysian Coastal

- Waters C. K., A. Ismail, S. G. Tan, H. Omar. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 69:877-884.
- Yap, CK., Ismail, A. & Tan, S.g. 2002b. Condition index of green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) as a potential physiological indicator of ecotoxicological effects of heavy metals (Cd and Pb). Malaysian Applied Biology. 31(2): 37-45.
- Yap, C. K., Hatta, Y., Edward, F. B., & Tan, S. G. 2008. Distribution of heavy metal concentrations (Cd, Cu, Ni, Fe and Zn) in the different soft tissues and shells of wild mussels *Perna viridis* collected from BAGAN TIANG and KUALA KEDAH Malaysian. Appl Biol, 37(2), 1-10.
- Yap, C. K., Ismail, A., Edward, F. B., Tan, S. G., & Siraj, S. S. 2006. Use of different soft tissues of *Perna viridis* as biomonitors of bioavailability and contamination by heavy metals (Cd, Cu, Fe, Pb, Ni, and Zn) in a semi-enclosed intertidal water, the Johore Straits. *Toxicological and Environ Chemistry*, 88(4), 683-695.
- Yap, CK., Ismail, A. & Tan, S.g. 2002b. Condition index of green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) as a potential physiological indicator of ecotoxicological effects of heavy metals (Cd and Pb). Malaysian Applied Biology. 31(2): 37-45.
- Yaqin, K, Nursyamsiah, Umar, MT, Fachruddin, L, dan Bachtiar, B. 2014. Apakah variasi ukuran panjang cangkang memengaruhi konsentrasi logam timbal di dalam daging kerang hijau, *Perna viridis* ? Prosiding Simposium Nasional I Kelatan dan Perikan. Fakultas Ilmu Kelautandan Perikanan, Universitas Hasanuddin Makassar.
- Yaqin, K., Tresnati, J., Ambo Rappe, R., & Aslam, M. 2014. The Use of Byssogenesis of Green Mussel, *Perna Viridis*, as a Biomarker in Laboratory Study. Current Nutrition & Food Science, 2014, 10, 100-106.
- Yaqin K, Lay, BW, Riani E, Masud, ZA and Hansen P-D. 2011a. 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 and Environmental Health Sciences. 3 356-366.
- Yaqin K, Rappe RA, Tresnati J. 2011b. Membangun pendekatan alternatif dalam monitoring perairan dengan menggunakan biomarker dalam berbagai tingkat organisasi biologis kerang hijau, *Perna viridis*. Laporan penelitian. Lembaga Penelitian Universitas Hasanuddin, Makassar.

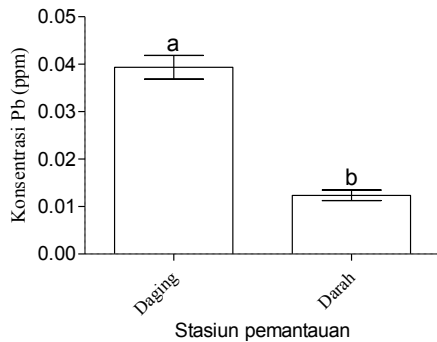
Daftar Gambar



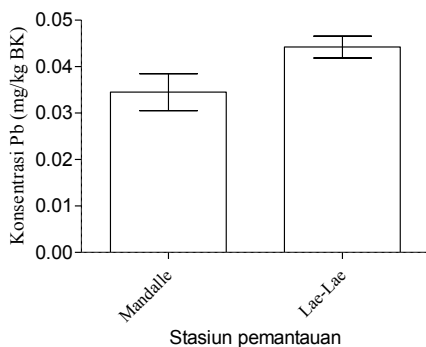
Gambar 1. Lokasi penelitian kerang hijau, *P. viridis*



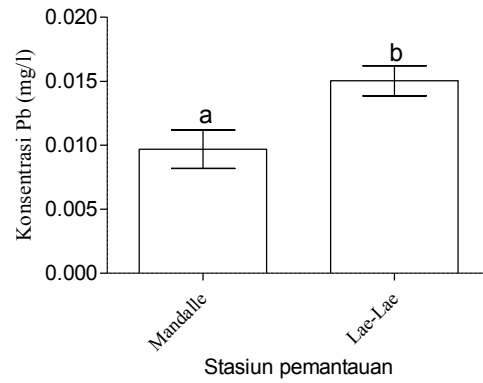
Gambar 2. Konvensi pengukuran cangkang kerang



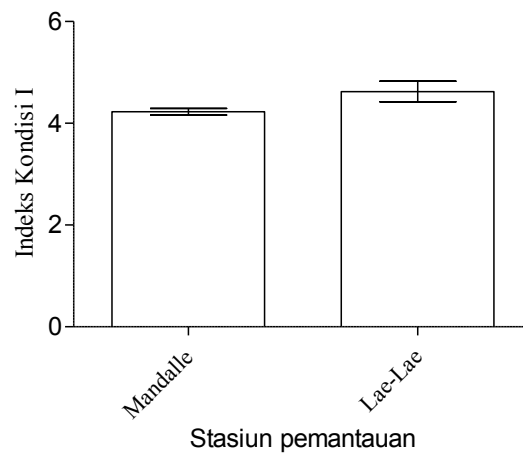
Gambar 3. Kandungan logam Pb di dalam daging dan darah kerang hijau, *Perna viridis*. Bar adalah *Standard Error*. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata ($p < 0,05$).



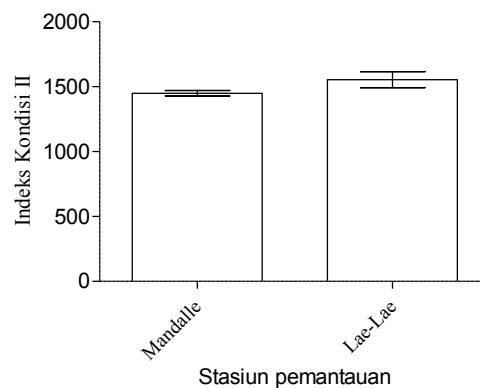
Gambar 4. Kandungan logam Pb di dalam daging kerang hijau, *Perna viridis* yang hidup di perairan Mandalle dan Pulau Lae-Lae. Bar adalah *Standard Error*.



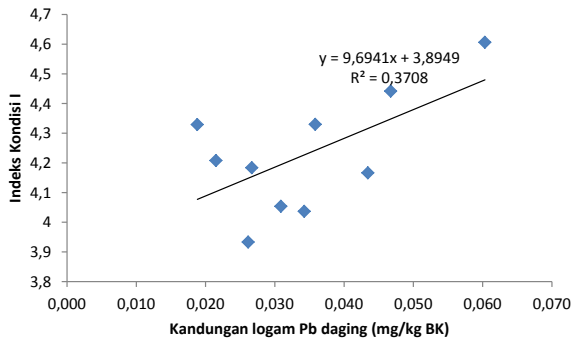
Gambar 5. Kandungan logam Pb di dalam darah kerang hijau, *Perna viridis*. Bar adalah *Standard Error*. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata ($p < 0,05$).



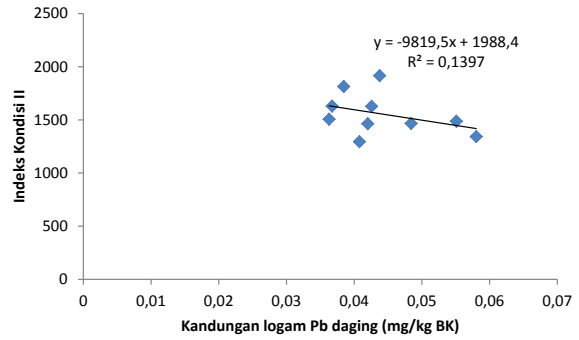
Gambar 6. Indeks Kondisi I kerang hijau yang hidup di perairan Mandalle dan Pulau Lae-Lae. *Perna viridis*. Bar adalah *Standard Error*. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata ($p < 0,05$).



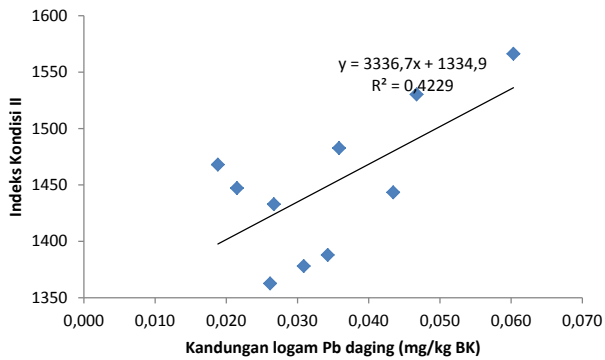
Gambar 7. Indeks Kondisi II kerang hijau yang hidup di perairan Mandalle dan Pulau Lae-Lae. *Perna viridis*. Bar adalah *Standard Error*. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata ($p < 0,05$).



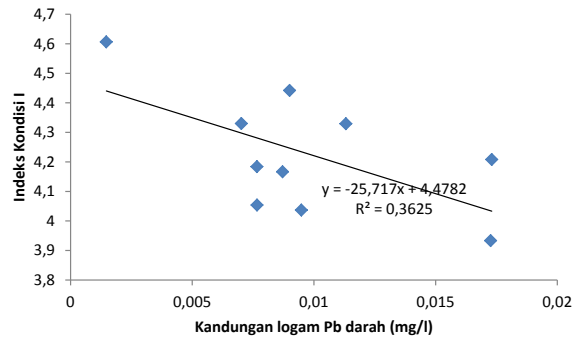
Gambar 8. Korelasi kandungan logam Pb daging dengan Indeks Kondisi I kerang hijau yang hidup di perairan Mandalle.



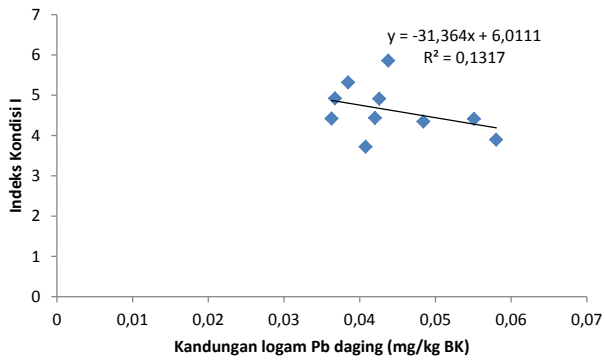
Gambar 11. Korelasi kandungan logam Pb daging dengan Indeks Kondisi I kerang hijau yang hidup di perairan Pulau Lae-Lae.



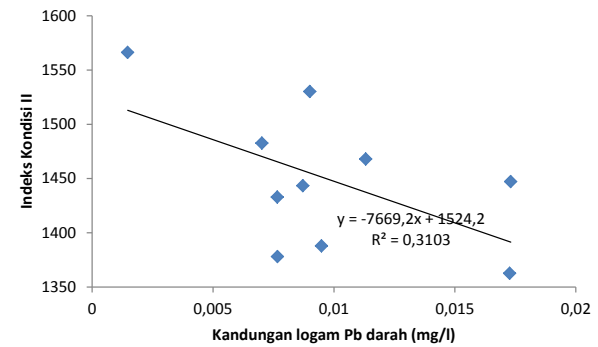
Gambar 9. Korelasi kandungan logam Pb daging dengan Indeks Kondisi II kerang hijau yang hidup di perairan Mandalle.



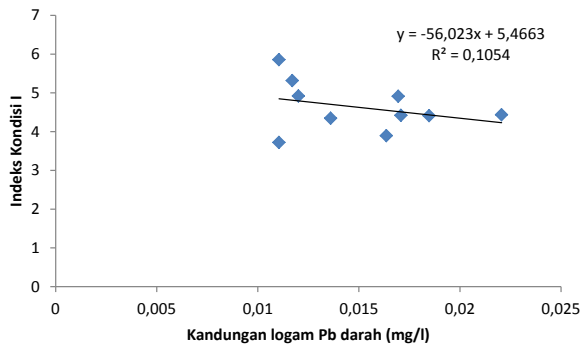
Gambar 12. Korelasi kandungan logam Pb darah dengan Indeks Kondisi I kerang hijau yang hidup di perairan Mandalle.



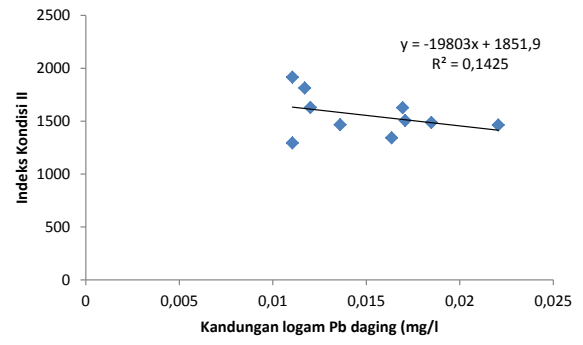
Gambar 10. Korelasi kandungan logam Pb daging dengan Indeks Kondisi I kerang hijau yang hidup di perairan Pulau Lae-Lae.



Gambar 13. Korelasi kandungan logam Pb darah dengan Indeks Kondisi II kerang hijau yang hidup di perairan Mandalle.



Gambar 14. Korelasi kandungan logam Pb darah dengan Indeks Kondisi I kerang hijau yang hidup di perairan Pulau Lae-Lae.



Gambar 15. Korelasi kandungan logam Pb darah dengan Indeks Kondisi II kerang hijau yang hidup di perairan Pulau Lae-Lae.