

Original Research Paper

## Pelatihan Tentang Model Akumulasi Cu Dan Hg dalam Tubuh Makhluk Hidup Pada Siswa SMAN 1 Palibelo

K. Khairuddin<sup>1\*</sup>, M. Yamin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

DOI : <https://doi.org/10.29303/jpmqi.v8i1.12076>

Situsi : Khairuddin, K., & Yamin, M. (2025). Pelatihan Tentang Model Akumulasi Cu Dan Hg dalam Tubuh Makhluk Hidup Pada Siswa SMAN 1 Palibelo. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 8(1)

### Article history

Received: 18 Janauri 2025

Revised: 20 Maret 2025

Accepted: 29 Maret 2025

\*Corresponding Author: K. Khairuddin, Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia; Email: [khairuddin644@gmail.com](mailto:khairuddin644@gmail.com)

**Abstract:** Akumulasi senyawa logam Cu dan Hg pada organisme adalah hal yang perlu dikenali dan dipahami oleh siswa di SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima. Permasalahan yang dihadapi mitra adalah bagaimana upaya yang harus dilakukan untuk mendapatkan pemahaman konsep dan pengetahuan awal Cu dan Hg dan keterampilan yang bagaimakah yang harus dimiliki sejak awal oleh siswa SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima agar dapat mengenal dan mengerti tentang model akumulasi Cu dan Hg pada berbagai tubuh organisme. Pelatihan ini bertujuan untuk memberikan pemahaman dan pengenalan tentang model akumulasi Cu dan Hg bagi siswa dan memberikan pengetahuan dan keterampilan tentang cara untuk menghindari diri dari paparan dengan Cu dan Hg dalam kegiatan sehari-hari, sehingga siswa SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima terhindar dari dampak akumulasi Cu dan Hg. Manfaat dari kegiatan ini adalah adanya pengenalan dan pemahaman tentang model akumulasi Cu dan Hg, dan peningkatan pengetahuan dan keterampilan tentang cara untuk menghindari diri dari paparan langsung dengan logam berat Cu dan Hg dalam kegiatan sehari-hari agar siswa peserta pelatihan terhindar dari kontaminan Cu dan Hg. Sebagai kesimpulan dari pelatihan ini adalah Pengetahuan dan keterampilan tentang penyusunan urutan akumulasi logam berat Cu dan Hg dan akumulasi dalam tubuh organisme telah mengantarkan siswa SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima sehingga dapat mengerti tentang model akumulasi logam Cu dan Hg dalam jasad hidup dalam kehidupannya sehari-hari, dan melalui upaya pelatihan tentang Model Akumulasi Logam Berat Cu dan Hg dalam tubuh organisme telah meningkatkan pemahaman siswa tentang model akumulasi logam berat Cu dan Hg pada manusia kepada siswa SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima.

**Keywords:** Akumulasi, Cu, Hg, Makhluk hidup.

## Pendahuluan

Aktifitas manusia di sektor pertanian, pertambangan, industri, transportasi, rumah tangga terbukti dapat menimbulkan pencemaran. Komponen utama pencemaran dari logam berat dapat berasal udara, air dan tanah, yang selanjutnya akan berpengaruh pula terhadap kualitas hasil pertanian dan makhluk hidup yang berinteraksi dengan komponen-komponen yang ada dalam areal

lahan pertanian terutama para petani (Khairuddin, dkk, 2022).

Di bidang pertanian dapat menjadi sumber pencemaran yaitu berupa 1) point source (PS) pollutants, yakni sumber-sumber pencemar yang dapat dengan jelas dari mana titik asalnya, misalnya pencemar yang dihasilkan dari kegiatan industri dan pertambangan, dan 2) non point source (NPS) pollutants, yakni sumber-sumber pencemar yang sulit untuk dikenali secara pasti dari mana titik pencemar berasal. Bahan pencemar yang berasal

dari kegiatan pertanian seperti logam berat dapat digolongkan sebagai non point source (NPS) (Widowati, dkk, 2008; Syed, dkk, 2023).

Kegiatan pertanian seringkali dijadikan contoh sebagai penghasil utama *non point source*, karena kegiatan ini umumnya menggunakan bahan kimia yakni pupuk dan pestisida. Penggunaan agrokimia untuk budi daya pertanian dapat mencapai 30 – 50% dari total input produksi pertanian. Input pertanian tersebut berubah menjadi bahan pencemar sebagai akibat penggunaan yang berlebihan atau tingkat kehilangan yang tinggi (Terfe, dkk, 2023). Pencemaran bukan hanya dapat terjadi secara insitu, yakni pada areal dimana budi daya dilakukan, namun berpeluang besar untuk menyebar ke daerah hilir (Khairuddin, dkk, 2021a; Khairuddin, 2021c).

Sumber utama kontaminan logam berat sesungguhnya berasal dari udara dan air yang mencemari tanah. Selanjutnya semua tanaman yang tumbuh di atas tanah yang telah tercemar akan mengakumulasikan logam-logam tersebut pada semua bagian (akar, batang, daun dan buah). Sumber bahan pencemar logam berat juga dapat berasal dari makanan yang terkontaminasi oleh logam berat, misalnya makanan hasil laut (Amriani, dkk, 2011; Atdjas, 2016). Kontaminasi makanan juga bisa terjadi dari tanaman pangan (bidang pertanian) yang diberi pupuk dan pestisida yang mengandung logam (Agustina, 2010; Tasselli, dkk, 2023).

Logam berat (*heavy metal*) merupakan komponen alamiah dalam lingkungan. Logam berat menunjuk pada logam yang mempunyai berat jenis lebih tinggi dari 5 atau 6 g/cm<sup>3</sup>. Namun pada kenyataannya dalam pengertian logam berat ini, dimasukkan pula unsur-unsur metalloid yang mempunyai sifat berbahaya seperti logam berat sehingga jumlah seluruhnya mencapai lebih kurang 40 jenis. Beberapa logam berat yang beracun tersebut adalah As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, dan Zn (Widowati, dkk, 2008; Cahyani, dkk, 2016).

Sumber dari logam berat timbal, kadmium, dan merkuri dalam air, baik yang berupa larutan atau pun padatan sering ditemukan di balik batu, ditemukan dalam bentuk sulfida yang berasal dari limbah/buangan industri yang terkontaminasi, lindi dari secure landfill yang tidak terkendali, kegiatan pertambangan yang buruk, dan kebocoran pada kolam penampungan limbah (Budiman, dkk, 2012)

Merkuri dapat menjadi kontaminan pada manusia dan lingkungan. Rabajczyk, dkk, (2011) mengatakan Manusia dapat terpapar Hg melalui lingkungan yang tercemar, makanan yang terkontaminasi, pertanian dan industry, perawatan gigi dan lain-lain. Pencemaran oleh merkuri (Hg) secara alamiah dapat berasal dari kegiatan gunung berapi atau rembesan air tanah yang melewati deposit Hg. Merkuri di dalam perairan mudah berikatan dengan klor dalam air laut membentuk merkuri anorganik (HgCl), mudah masuk dalam plankton dan bias berpindah ke biota laut lainnya (Widowati, dkk, 2008). Merkuri anorganik dapat diubah oleh mikrorganisme tertentu menjadi metal merkuri yang lebih berbahaya. Air yang mengandung ion logam seperti Hg sangat berbahaya bagi tubuh manusia. Air yang mengandung ion logam ini tidak dapat digunakan sebagai air minum (Suryono, 2006)

Merkury (Hg) ditemukan juga pada tailing pertambangan (Herman, 2006). Air yang mengandung logam berat dapat masuk kedalam tanah sehingga logam berat terlarut dalam tanah. Logam berat yang terlarut pada tanah pertanian dapat diserap tanaman dan terbawa oleh hasil panen yang kemudian dikonsumsi oleh manusia dan ternak sehingga logam berat akan masuk ke dalam sistem metabolisme tubuh manusia dan ternak (Khairuddin, dkk, 2021; Halmagyi, dkk, 2023)

Manusia telah menggunakan mercury oksida (HgO) dan mercury sulfida (HgS) sebagai zat pewarna dan bahan kosmetik sejak jaman dulu. Dewasa ini mercury telah digunakan secara meluas dalam produk elektronik, industri pembuatan cat, pembuatan gigi palsu, peleburan emas, sebagai katalisator, dan lain-lain. Penggunaan mercury (Hg) sebagai elektroda dalam pembuatan soda api dalam industri makanan seperti minyak goreng, produk susu, kertas timah, pembungkus makanan juga kadang mencemari makanan tersebut (Widowati, dkk, 2008)

Pencemaran logam mercury (Hg) mulai mendapat perhatian sejak munculnya kasus minamata di Jepang pada tahun 1953. Pada saat itu banyak orang mengalami penyakit yang mematikan akibat mengonsumsi ikan, kerang, udang dan makanan laut lainnya yang mengandung mercury. Kasus pencemaran mercury di Teluk Minamata Jepang pdai tahun 1953 sampai 1975 telah menyebabkan ribuan orang meninggal dunia. Mrajita (2010), mengatakan, sumber alami utama

hadirnya logam Pb, Cu, Cr, Cd, Hg, Ni dan Zn adalah dari aktivitas vulkanik dan kegiatan pertanian.

Jika akumulasi logam berat tersebut semakin meningkat seiring dengan waktu dan peningkatan konsentrasi logam berat ke perairan maka kerang diduga akan mengalami gangguan dalam melakukan filtrasi makanan, maka kerang tersebut akan mengalami penurunan dalam pertumbuhan dan bahkan dimungkinkan mengalami kematian (Suryono, 2006). Urutan toksitas logam berat adalah:  $Hg^{2+} > Cd^{2+} > Ag^{2+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > As^{2+} > Cr^{2+} > Sn^{2+} > Zn^{2+}$ . Menurut Mrajita (2010) mengatakan, sumber alami utama hadirnya logam Pb, Cu, Cr, Cd, Hg, Ni dan Zn adalah dari aktivitas vulkanik dan kegiatan pertanian.

Tembaga adalah zat yang sangat umum yang terjadi secara alami di lingkungan dan menyebar melalui lingkungan melalui fenomena alam. Manusia banyak menggunakan tembaga. Misalnya itu diterapkan dalam industri dan pertanian. Produksi tembaga telah mengangkat selama dekade terakhir. Karena ini, jumlah tembaga dalam lingkungan telah meningkat. Produksi tembaga dunia masih meningkat. Ini pada dasarnya berarti bahwa semakin banyak tembaga berakhir di lingkungan. Sungai yang mendepositkan lumpur pada bank mereka yang terkontaminasi dengan tembaga, karena pembuangan air limbah yang mengandung tembaga. Tembaga memasuki udara, terutama melalui pelepasan selama pembakaran bahan bakar fosil (Widowati, dkk, 2008).

Tembaga sering ditemukan di dekat tambang, pengaturan industri, pembuangan sampah dan limbah pelepasan. Kebanyakan senyawa tembaga akan menetap dan terikat dengan baik sedimen air atau partikel tanah. Senyawa tembaga larut membentuk ancaman terbesar bagi kesehatan manusia. Biasanya senyawa tembaga yang larut dalam air terjadi di lingkungan setelah rilis melalui aplikasi di bidang pertanian. Tembaga bisa ditemukan dalam berbagai jenis makanan, dalam air minum, dan di udara. Karena itu, manusia menyerap sejumlah tembaga saat makan, minum, dan bernapas. Tembaga merupakan elemen yang penting bagi kesehatan manusia. Namun, jumlah asupan terlalu besar akan menyebabkan masalah kesehatan. Konsentrasi tembaga di udara biasanya cukup rendah, sehingga paparan melalui pernapasan bisa diabaikan. Tetapi orang-orang yang tinggal di dekat smelter atau pabrik pengolahan

tembaga akan mengalami eksposur lebih tinggi (Metwally, dkk, 2023).

Eksposur tembaga jangka panjang dapat menyebabkan iritasi pada hidung, mulut, mata, serta menyebabkan sakit kepala, sakit perut, pusing, muntah, dan diare. Asupan ekstra tinggi atau paparan dosis besar akan menyebabkan kerusakan hati, ginjal, dan bahkan kematian (Widowati, dkk, 2008). Terdapat penelitian yang menunjukkan adanya hubungan antara paparan jangka panjang konsentrasi tinggi tembaga dan penurunan kecerdasan pada anak. Paparan pada asap dan debu tembaga bisa menyebabkan demam asap logam yang diiringi perubahan atropi pada membran mukosa. Keracunan tembaga kronis bisa memicu penyakit Wilson yang ditandai dengan sirosis hati, kerusakan otak, demyelization, penyakit ginjal, dan timbunan tembaga di kornea.

Ketika di tanah, tembaga akan terikat pada bahan organik dan mineral. Tembaga tidak rusak di lingkungan dan karena itu dapat terakumulasi pada tanaman dan hewan ketika berada di tanah. Pada tanah dengan kandungan tembaga amat tinggi, hanya sejumlah kecil tanaman yang bisa bertahan hidup. Itu sebab, tidak terdapat banyak keanekaragaman tumbuhan dekat pabrik atau pembuangan limbah tembaga. Tembaga juga dapat mengganggu aktivitas dalam tanah karena berpengaruh negatif pada aktivitas mikroorganisme dan cacing tanah. Ketika tanah peternakan tercemar tembaga, hewan ternak akan mengasup konsentrasi tinggi tembaga yang bisa merusak kesehatan ternak (Amriani, 2011; Atdjas, 2016).

Tumbuhan dan hewan sangat mudah mengakumulasi logam berat yang masuk dalam tubuhnya dan dapat juga masuk kedalam tubuh manusia melalui bioakumulasi dan biomagnifikasi. Berbagai jenis racun insektisida dan juga logam berat seperti Cu dan Hg masuk dalam tubuh manusia melalui bahan makanan, kulit, dan juga dari saluran pernapasan (Herman, 2006; Suyono, 2006).

Pencemaran lingkungan oleh logam berat dapat terjadi, terutama saat membuang limbah dari industri yang mengandung logam Hg. Logam tertentu dalam konsentrasi tinggi akan sangat berbahaya bila ditemukan di dalam lingkungan, baik dalam air, dan tanah, maupun di udara). Sumber utama kontaminan logam berat sesungguhnya berasal dari udara dan air yang mencemari tanah. Selanjutnya semua tanaman yang

tumbuh di atas tanah yang telah tercemar akan mengakumulasikan logam-logam tersebut pada semua bagian termasuk akar, batang, daun dan buah (Widowati, dkk, 2008;).

Makanan yang terkontaminasi Cu dan Hg merupakan sumber bahan pencemar logam berat, yang dapat berasal dari makanan hasil laut (Yusuf, dkk, 2004). Kontaminasi makanan juga bisa terjadi dari tanaman pangan (bidang pertanian) yang diberi pupuk dan pestisida yang mengandung logam (Agustina, 2010). Logam berat terserap kedalam jaringan tanaman melalui akar batang dan daun, yang selanjutnya akan masuk dalam siklus rantai makanan. Tanaman yang tumbuh di atas tanah yang telah tercemar akan mengakumulasikan logam-logam tersebut pada bagian akar, batang, daun dan buah. Apabila melebihi batas toleransi, maka logam dapat menimbulkan keracunan pada manusia dan hewan.

Kebiasaan manusia pada bidang pertanian dan pertambangan dapat menjadi sumber logam berat yang dapat masuk dalam lingkungan. Kerusakan lingkungan muncul dalam bentuk; pencemaran udara, pencemaran air, dan pencemaran tanah. Kualitas lingkungan yang buruk akibat terpapar logam berat, dapat berdampak global pada lingkungan, khususnya bagi kesehatan masyarakat sendiri. Hasil penelitian Khairuddin, dkk (2016), menunjukkan adanya kandungan logam berat Cd, Hg, dan Pb pada kerang bivalvia di teluk Bima dengan kadar yang bervariasi. Hal ini dapat memberi gambaran bahwa di lingkungan perairan teluk bima yang biasa digunakan masyarakat untuk mengambil kerang sebagai sumber makanan sudah menunjukkan adanya pencemaran logam berat. Hasil penelitian lain juga menemukan adanya logam berat Tembaga (Cu) dan Kadmium (Cd) yang melebihi ambang batas pada jaringan ikan Bandeng dari teluk Bima (Khairuddin, dkk, 2021b).

SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima termasuk sekolah yang favorit sangat berkait dengan FKIP Unram karena adanya alumni yang menjadi pengajar di Unram. Juga adanya alumni FKIP Unram yang mengajar atau menjadi guru di sekolah tersebut atau adanya kegiatan pelatihan-pelatihan yang melibatkan lembaga-lembaga tersebut. Siswa SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima sebagai generasi penerus pembangunan perlu dibekali dengan pengetahuan tentang model akumulasi Logam Cu dan Hg sehingga dapat mengetahui dampak negatif dari akumulasi Cu, dan

Hg terutama dalam tubuh manusia. SMAN 1 Palibelo ini juga merupakan sekolah yang relatif dekat dengan daerah pertanian dan pertambangan yang ada di bagian selatan teluk Bima. Siswa-siswinya juga seluruhnya berasal dari wilayah pertanian.

Salah satu populasi siswa yang sangat potensial untuk dijadikan obyek pelatihan dan pengenalan model akumulasi logam berat adalah SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima, mengingat siswa dan siswi tersebut merupakan orang-orang yang berpotensi besar untuk terkontaminasi Cu dan logam Hg, yang berasal dari daerah pertanian, pertambangan ikan dan juga dari makanan hasil laut lainnya seperti kerang, karena akumulasi logam berat ini sangat berbahaya bagi kesehatan manusia, terutama siswa-siswi yang kelak menjadi generasi pelanjut perjuangan dan pembangunan negara untuk masa yang akan datang.

Berdasarkan pengamatan dan melihat kondisi serta kenyataan di lapangan, yaitu belum dipahaminya bentuk dan model akumulasi Tambaga (Cu) dan air raksa (Hg) dalam organ atau jaringan organisme, maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut :1). Pengetahuan dan keterampilan yang bagaimakah yang harus dimiliki oleh siswa SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima agar dapat mengerti tentang model akumulasi logam berat Cu dan Hg dalam tubuh makhluk hidup dalam kebiasaan hidup sehari-hari ? dan 2). Bagaimana upaya yang harus dilakukan untuk memahami dan mengenali model akumulasi Cd dan Hg pada manusia kepada siswa SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima?

Kegiatan ini dapat bermanfaat siswa di SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima atau peserta sebagai berikut : 1). Peningkatan pemahaman tentang model akumulasi Cu dan Hg pada manusia kepada siswa SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima dan 2).Peningkatan pengetahuan dan keterampilan tentang cara untuk menghindari diri dari kontak langsung dengan logam berat Cu dan Hg dalam kehidupan sehari-hari agar siswa SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima sebagai peserta pelatihan terhindar dari pola model akumulasi logam berat Cu dan Hg.

## Metode

Berbagai metode digunakan dalam pelaksanaan pelatihan ini. Metode yang telah dimanfaatkan

dalam pelatihan ini, mencakup: Metode ceramah adalah metode utama yang dimanfaatkan dalam pelatihan ini. Metode yang kedua yaitu diskusi. Metode ceramah dan diskusi digunakan supaya memberi bekal pengetahuan kepada para siswa SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima yang mengikuti pelatihan tentang model akumulasi Cu dan Hg dalam tubuh makhluk hidup termasuk manusia. Materi penting lain yang juga dilatihkan pada para siswa sebagai peserta pelatihan di SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima adalah informasi yang berhubungan dengan sumber bahan yang bisa terpapar oleh logam Cu dan Hg, sehingga dapat terjadi proses akumulasi pada tubuh organisme. Sifat logam berat dapat menentukan model akumulasinya dalam jaringan makhluk hidup. Setiap unsur logam berat memiliki organ target sendiri-sendiri, contohnya Hg yang memiliki sasaran yaitu sistem saraf. Pada akhirnya pemberian materi tersebut akan meningkatkan pemahaman peserta pelatihan yaitu siswa SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima baik secara perorangan maupun secara kelompok.

Metode berikutnya dalam kegiatan pelatihan ini adalah metode tanya jawab. Metode tersebut ditujukan supaya dapat memberikan refleksi atau umpan balik pada para siswa SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima. Selain itu juga agar siswa yang mengikuti pelatihan dapat memberi tanggapan tentang model akumulasi logam Cu dan Hg pada organ tubuh berbagai organisme. Metode demonstrasi adalah metode terakhir yang dilakukan dalam pelatihan ini. Metode ini diterapkan dengan tujuan untuk bisa memberikan gambaran pada para siswa tentang model akumulasi Cu dan Hg, dampak dari kontaminasi dengan logam Cu dan Hg, serta upaya agar terhindar dari kontak langsung dengan logam Cu dan Hg pada para siswa di SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima

## Hasil dan Pembahasan

Pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat dalam bentuk pelatihan sudah diselenggarakan di SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima. Kegiatan tersebut dilaksanakan dalam bentuk pelatihan dengan pendekatan komprehensif dan tuntas. Kegiatan pelatihan terlaksana dengan baik, aman dan lancar, dilaksanakan pada bulan Mei tahun 2022 **dengan peserta lebih dari 50 orang**. Dari hasil tanya jawab dan diskusi, siswa dengan

mudah memahami materi pelatihan. Sekitar 98 % siswa dapat dengan mudah memahami materi pelatihan, karena disampaikan dengan menggunakan media elektronik dengan tayangan LCD dan juga diberikan materi dalam bentuk video. Hal ini dapat dibuktikan dengan pertanyaan balik dari pelatih yang dapat dijawab dengan benar oleh para siswa.

Semua siswa sangat antusias dan mengikuti pelatihan dengan serius disertai tanya jawab dan diskusi yang berhubungan dengan materi pelatihan. Pemutaran video tentang dampak akumulasi logam berat Cu dan Hg pada organisme, terutama pada hewan mamalia termasuk pada manusia diberikan untuk memudahkan siswa memahami tentang materi pelatihan. Materi yang dijelaskan dalam video mampu memberi motivasi pada para SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima untuk memahami tentang dampak logam Cu dan Hg yang masuk dalam sistem kehidupan. Bioakumulasi dan biomagnifikasi memang terjadi dan masuk dalam rantai dan jaring makanan, yang pada akhirnya akan sampai pada puncak rantai makanan seperti halnya dapat terjadi pada umat manusia.

Penyajian materi pelatihan yang berhubungan dengan model akumulasi logam Cu dan Hg yang terkandung dalam makanan yang telah terkontaminasi logam berat misalnya dari makanan pokok nasi, ubi, kentang, ikan laut, kerang, cumi dan sebagainya, memberikan manfaat bagi peserta. Pemberian materi pelatihan dilakukan dengan penjelasan yang baik sesuai dengan jenjang pengetahuan bawaan SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima. Penjelasan dan diskusi dalam kegiatan pelatihan telah dapat mendorong naiknya kadar pemahaman dan pengetahuan tentang akumulasi logam berat scu dan Hg pada siswa SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima mencapai 98 %. Perolehan hasil pelatihan ini didapatkan karena dalam sajian materi pelatihan disertai dengan memutarkan video contoh makanan yang mempunyai kecenderungan terkontaminasi oleh logam Cu dan Hg, seperti makanan pokok dan makanan yang berasal dari laut seperti ikan, udang, cumi dan kerang.

Pemahaman terhadap topik pelatihan oleh siswa SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima yang sangat baik tentang paparan dan proses akumulasi logam berbahaya misalnya Cu dan Hg pada manusia, sebagai dampak dari hasil pelatihan ini tentu merupakan informasi yang sangat berguna

bagi semua siswa yang terlibat dalam pelatihan. Para peserta pelatihan dapat mengerti dengan sangat baik tentang model akumulasi Cu dan Hg sesuai topik yang dilatihkan. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya umpan balik seperti saat pelatih memberikan pertanyaan balik, kemudian para siswa yang mengikuti pelatihan menjawab dengan benar. Penggunaan media elektronik seperti LCD dan laptop yang digunakan pada penyiaran materi dalam pelatihan ini sangat menunjang dalam menayangkan video tentang akumulasi logam Cu dan Hg pada organisme dan power point (PPT), sehingga peningkatan pemahaman dan keterampilan siswa bisa didapatkan.

Materi pelatihan ditunjang dan diperkaya oleh berbagai hasil penelitian yang relevan. Salah satunya adalah ditemukan Logam Hg dalam Kerang di teluk Bima, yaitu masing-masing; Kerang darah (*Anadara granosa*) sebesar 0,040 ppm, Kerang hiatula (*Hiatala chinensis*) 0,031 ppm dan Kerang (*Siliqua winteriana*) 0,017 ppm (Khairuddin, dkk, 2016). Hasil penelitian lain menemukan bahwa pada tanaman mangrove dan pada jaringan kerang ditemukan adanya kandungan logam berat Tembaga (Cu), Timbah (Pb) dan air raksa (Hg). Konsentrasi logam Timbal (Pb) pada daun *Sonneratia alba* 4 ppm dan Kadmium (Cd) 0,27 ppm. Sedangkan pada akar *Sonneratia alba* ditemukan 4,3 ppm logam timbal (Pb) dan 0,25 ppm logam Kadmium (Cd). Pada daun dari spesies *Ryzophora apiculata* ditemukan 2,9 ppm logam timbal (Pb) dan 0,36 ppm logam Kadmium (Cd). Pada organ akar *Ryzophora apiculata* juga ditemukan 1,1 ppm Timbal (Pb) dan 0,05 ppm Kadmium (Cd) (Khairuddin, dkk, 2018).

Hasil penelitian Khairuddin, dkk (2021a) menunjukkan adanya logam tembaga (Cu) dalam jaringan ikan Bandeng (*Chanos-chanos*) mencapai rata-rata 27,3 %. Data tersebut tampak jelas bahwa kandungan Cu tersebut termasuk tinggi karena diatas ambang yang diperbolehkan sesuai dengan standard maksimum yang diperbolehkan yaitu kadar logam Cu sebesar 20 mg/kg, seperti yang tertuang dalam Surat Keputusan Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan No. 03725/B/SK/89 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam dalam Ikan dan Hasil Olahannya. Ini tentu menjadi perhatian serius oleh masyarakat sekitar teluk yang mengkonsumsi makanan hasil laut karena mengandung potensi bahaya dari

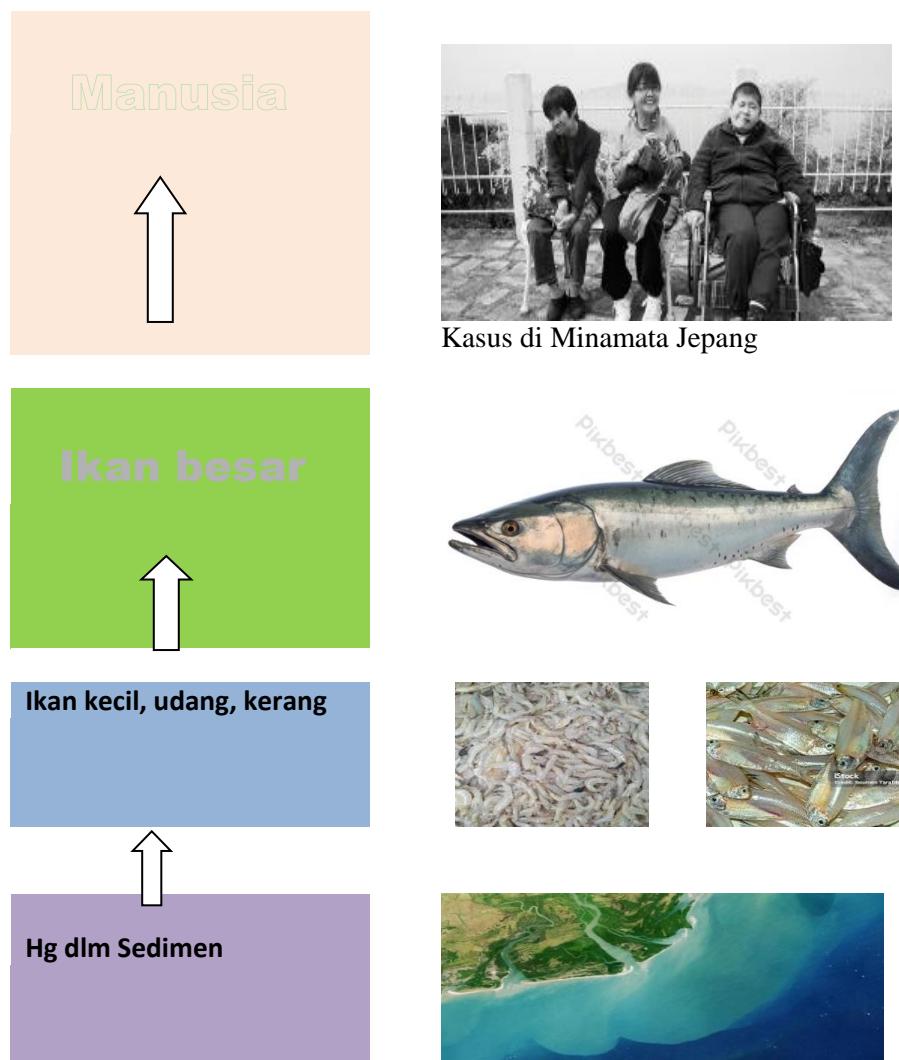
kontaminan logam berat dalam makanan tersebut. (Yoga, dkk, 2016; Khairuddin, dkk, 2024)

Pada manusia dapat terjadi akumulasi logam-logam berat. Berikut adalah contoh model akumulasi logam berat air raksa (Hg) pada tubuh manusia

Kerang termasuk spesies organisme yang mampu mengakumulasi logam berat. Logam berat ditemukan pada beberapa spesies kerang. Logam berat Air Raksa (Hg) ditemukan pada 3 spesies Kerang yaitu pada Kerang darah (*Anadara granosa*), Kerang (*Siliqua winteriana*), Kerang hiatula (*Hiatala chinensis*). Logam Air Raksa/merkuri (Hg) dalam Kerang ditemukan masing-masing; Kerang darah (*Anadara granosa*) sebesar 0,040 ppm, Kerang hiatula (*Hiatala chinensis*) 0,031 ppm dan Kerang (*Siliqua winteriana*) 0,017 ppm (Khairuddin, dkk, 2016). Apabila manusia mengkonsumsi makanan yang mengandung logam berat, maka akan berdampak terhadap kesehatannya (Hossain, dkk, 2022; Yunanmalifah, dkk, 2021)

Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa pada tanaman mangrove dan pada jaringan kerang menemukan adanya kandungan logam Air Raksa (Hg) dan Kadmium (Cd). Konsentrasi logam Kadmium (Cd) 0,27 ppm pada daun *Sonneratia alba* dan pada akar *Sonneratia alba* ditemukan 0,25 ppm logam Kadmium (Cd). Pada daun tumbuhan mangrove *Ryzophora apiculata* didapatkan 0,36 ppm Kadmium (Cd), dan pada akar diperoleh 0,05 ppm Kadmium (Cd) (Khairuddin, dkk, 2018).

Sebagai pembanding tentang akumulasi logam berat, hasil penelitian Khairuddin, dkk (2021c) menunjukkan adanya logam tembaga (Cu) dalam jaringan ikan Bandeng (*Chanos-chanos*) mencapai rata-rata 27,3 %. Data tersebut tampak jelas bahwa kandungan Cu tersebut termasuk tinggi karena diatas ambang yang diperbolehkan sesuai dengan standard maksimum yang diperbolehkan yaitu kadar logam Cu sebesar 20 mg/kg, seperti yang tertuang dalam Surat Keputusan Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan No. 03725/B/SK/89 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam dalam Ikan dan Hasil Olahannya (Priyanto dan Ariyani, 2008).



Gambar 1 : Model Akumulasi Logam Berat Hg pada Manusia

Hasil penelitian menemukan kadar Hg, dan Cd, pada daging ikan Rejung (*Sillago sihama*) masing-masing secara berurutan berkisar, 304,499-4535,221 ppb dan 0,107-0,564 ppm (Cahyani, dkk, 2016), yang menunjukkan adanya akumulasi logam berat. Selanjutnya hasil penelitian (Zulfiah, dkk, 2017) mendapatkan data kadar rata-rata logam Cu pada sampel ikan bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) sebesar 0,0882 mg/kg. Adanya Kadmium (Cd) dalam perairan dapat berasal dari penggunaan pupuk yang diberikan petani tambak untuk menumbuhkan phytoplankton berupa alga atau ganggang. Alga/ganggang merupakan makanan utama bagi ikan termasuk Bandeng. Kemudian logam berat Cd dapat masuk pada makanan hasil

laut (*sea food*) liwat rantai makanan (Russell, dkk, 2012; Bhuyain, dkk, 2022).

Para petani selalu berusaha untuk dapat meningkatkan hasil pertaniannya, sehingga petani menggunakan pupuk. Sebagai contoh dalam pupuk Pospat terdapat logam Cu (Riani, dkk, 2017). Bahan makanan dari hasil laut misalnya udang atau cumi dapat mengandung logam Cu. Apabila manusia memakan udang yang terkontamini Tembaga (Cu) yang tinggi, bersifat karsinogenik, maka Cu dapat masuk dalam dalam tubuh dan menimbulkan penyakit pada manusia. Kasus juga terjadi pada Air raksa (Hg) (Suryono, 2006; Solgi dan Mirmohammadvali, (2021)).

Penumpukan logam berat sangat berhubungan dengan suhu lingkungan. Makin tinggi suhu air

akan menimbulkan efek adanya penumpukan logam berat dalam tubuh organisme seperti ikan. Peningkatan suhu air condong untuk menaikkan penumpukan dan toksitas logam berat, diantaranya Hg dan juga Cu. Pada suhu 30<sup>0</sup> C, ikan yang terkontaminasi logam berat akan lebih sering menumpuk logam berat lebih tinggi jika dibandingkan dengan pada suhu kamar. Hasil penelitian (Soraya, 2012), menunjukkan bahwa naiknya suhu air mempengaruhi aktivitas makhluk hidup dalam air. Proses anabolisme dan katabolisme hewan air meningkatkan seiring dengan meningkatnya proses metabolisme dari organisme yang hidup dalam lingkungan perairan (Sitorus, 2011).

Tumbuhan air seperti ganggang adalah organisme yang peka terhadap perubahan lingkungan, karena berbagai spesies ganggang merupakan organisme yang memiliki respon paling cepat terhadap perubahan lingkungan dibandingkan dengan manusia dan hewan (Hastuti, dkk, 2013). Manusia sebagai puncak rantai makanan, condong menumpuk logam berat seperti Kadmium (Cd). Peningkatan kadar Cd, bersama juga dengan kadar Cu yang terlalu tinggi dapat memberikan dampak negatif bagi organisme, baik hewan maupun manusia karena sifat logam berat yang karsinogenik, dan mampu melakukan akumulasi dalam jaringan dan organ tubuh (Rochyatun, dkk. 2010; Rochyatun dan Rozak, 2010).

Hasil penelitian (Zulfiah, dkk, 2017), pada sampel ikan bandeng (*Chanos chanos* Forsk) menemukan kadar rata-rata logam Cu sebesar 0,0882 mg/kg. Fakta seperti ini membuktikan bahwa ikan Bandeng dapat menumpuk logam berat Cu dan logam berat lainnya seperti Cd. Selanjutnya ada juga hasil penelitian lain mengungkapkan adanya logam berat pada ikan bandeng (Purnomo dan Muchyiddin, 2007).

Logam berat dapat terakumulasi dalam lingkungan, terutama mengendap di dasar perairan membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik secara adsorpsi dan kombinasi. Selanjutnya logam berat dapat diambil oleh tamanan yang tumbuh di dalam perairan. Sifat dari logam berat tidak bisa dihancurkan (*nondegradable*) oleh organisme hidup yang ada dilingkungan, sehingga inilah yang menjadi penyebab utama dikatakan sebagai bahan pencemar berbahaya (Alshkarchy, dkk, 2021).

Penyelenggaraan kegiatan pelatihan ini dapat terlaksana dengan lancar karena adanya faktor-faktor pendorong dan faktor penghambat yang dapat diatasi selama kegiatan pelatihan berlangsung. Pelatihan yang dilakukan SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima ini ditunjang oleh faktor pendorong yaitu berupa siswa dan siswi yang ada di sekolah tersebut berasal dari desa yang mengenal cara-cara petani dalam aktivitas pertaniannya yang menggunakan pupuk, insektisida, herbisida dan fungisida, yang didalamnya mengandung logam berat seperti Cu, dan Hg. Selain itu, lokasi SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima yang ada di kawasan dekat perairan dan pertambahan yang ada di teluk Bima. Dari tambak dan teluk Bima dihasilkan banyak makanan hasil laut seperti ikab Bandeng, mujair, udang dan berbagai jenis kepiting.

Lokasi sekolah SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima juga berdekatan dengan wilayah pertanian. Petani condong menggunakan bahan-bahan beracun seperti Herbisida, insektisida dan fungisida dalam kegiatan pertaniannya. Kontaminasi logam Cu dan Hg pada manusia dapat berasal dari hasil pertanian dan hasil-hasil laut seperti ikan dan kerang yang berpotensi mengandung logam berat, seperti yang disampaikan oleh Khairuddin, dkk (2016) mengatakan bahwa kerang yang berasal dari teluk Bima sudah terkontaminasi oleh logam berat seperti Kadmium (Cd), air raksa (Hg) dan timbal (Pb).

Hubungan baik antara SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima dengan tim pelatih memberikan kemudahan tersendiri dalam penyelenggaraan kegiatan pengabdian kepada masyarakat kali ini. Faktor pendorong yang lain adalah adanya komunikasi yang baik dengan guru-guru yang dikenal oleh pelaksana pelatihan. Adanya kegiatan pelatihan ini juga merupakan cara berkomunikasi antara FKIP Unram dengan Lembaga Pendidikan yang ada di Kabupaten Bima.

Jalinan kerja diantara kedua institusi sudah dapat terjalin dengan baik. Terdapat guru SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima juga yang telah mengikuti pelatihan termasuk pelatihan yang berhubungan dengan Pendidikan dan latihan profesi guru di Unram (FKIP Unram), sehingga bisa memperoleh sertifikasi pendidik. Demikian juga dengan adanya alumni yang telah bertugas dan mengikuti kegiatan ilmiah di kampus FKIP UNRAM dan juga ada jalinan komunikasi tentang kegiatan akademis berupa konsultasi tentang pembelajaran, media dan keberlanjutan dalam

membina karir sebagai guru termasuk yang dibawah koordinasi Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah.

Selain itu terdapat juga hambatan-hanbatan yang ditemui pada kegiatan pelatihan ini. Kegiatan pelatihan yang merupakan bagian dari pengabdian kepada masyarakat ini mengalami beberapa hambatan dalam pelaksanaannya. Salah satu faktor penghambat adalah ketersediaan waktu yang terbatas dan kesulitan menemukan jadwal yang tepat antara pihak pelatih dengan pihak sekolah yaitu SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima. Hambatan yang kedua adalah jarak tempat pengabdian dengan kampus yang relatif jauh, sehingga membutuhkan waktu yang lama dalam perjalanan. Faktor penghambat berikutnya dalam pengabdian ini adalah adanya kegiatan yang padat seperti menjelang ujian tengah semester atau ujian semester pada sekolah yang bersangkutan menyebabkan pihak sekolah tidak dapat menyediakan jadwal kegiatan pelatihan sesuai kemauan pelatih. Adanya kemauan keras dan kesabaran yang tinggi, akhirnya pihak pelatih dan pihak sekolah dapat menemukan waktu yang luang dan menyepakati untuk menentukan jadwal pelaksanaan pelatihan. Semua tahapan kegiatan pelatihan di SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima ini dapat terlaksana dengan baik. Kesediaan waktu para anggota pelatih juga merupakan faktor penghambat dalam penyelenggaraan kegiatan penyuluhan ini. Dana juga merupakan faktor penghambat yang masih cukup terasa karena masih kurang besarnya alokasi dana dan pencairan dana yang kurang tepat waktu pada kegiatan pengabdian pada masyarakat. Faktor penghambat yang lain adalah dana. Dana yang terbatas masih merupakan kendala dalam kegiatan pengabdian ini, walaupun dana pengabdian masih disediakan oleh pihak Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP) dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Mataram. Dengan adanya kebersamaan dari anggota tim pelatihan, maka hambatan bisa teratasi dan semua tahapan kegiatan bisa terlaksana dengan baik, aman dan lancar.

## Kesimpulan

Dari pelaksanaan kegiatan pelatihan dan diskusi selama proses pelatihan berlangsung, maka dapat disimpulkan bahwa : Pengetahuan dan keterampilan tentang model akumulasi Cu dan Hg

dalam tubuh organisme telah mengantarkan siswa SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima sehingga dapat mengerti tentang model akumulasi logam berat Cu dan Hg pada organisme dalam kehidupannya sehari-hari, dan melalui upaya pelatihan tentang Model Akumulasi Logam Berat Cu dan Hg dalam tubuh organisme telah meningkatkan pemahaman siswa tentang model akumulasi logam berat Cu dan Hg pada manusia kepada siswa SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima.

Sebagai tindak lanjut berikutnya, maka disampaikan saran bahwa pengetahuan dan keterampilan tentang Model Akumulasi Logam Berat Cu dan Hg dalam tubuh organsme pada Siswa SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima adalah sangat panting. Untuk itu maka kegiatan pelatihan berikutnya disarankan untuk dilakukan pada sekolah-sekolah lainnya di sekitar teluk Bima atau sekitar wilayah pertanian yang ada di Kabupaten Bima, mengingat teluk Bima menghasilkan bahan makanan hasil laut seperti ikan bandeng, udang, dan kerang.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih setinggi-tingginya kami sampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu pelaksanaan kegiatan pelatihan di SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima ini. Kegiatan ini dapat terlaksana dengan dukungan dana dari Unram dengan kontrak Nomor : 1909/UN18/LPPM/2020 Ucapan terima kasih ditujukan terutama pada Bapak Rektor Unram, Ketua Lembaga Pengabdian kepada masyarakat Unram, Dekan FKIP Unram, mahasiswa yang terlibat dan Kepala SMAN 1 Palibelo Kabupaten Bima beserta guru-guru dan stafnya yang senantiasa membantu dan menemani kami dalam pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat.

## Daftar Pustaka

- Alshkarchy, S.S.; Raesen, A.K.; and Najim, S.M. 2021. Effect of heavy metals on physiological and histological status in liver of common carp *Cyprinus carpio*, reared in cages and wild in the Euphrates River, Babil / Iraq. 5ISCESD 2021. IOP Conf. Series: Earth and Environmental

- Science 779 (2021) 012066, doi:10.1088/1755-1315/779/1/012066
- Agustina, T. 2010. Kontaminasi Logam Berat Pada Makanan dan Dampaknya pada Kesehatan. jurnal Teknubuga Volume 2 No. 2 – April 2010 ; <https://journal.unnes.ac.id/nju/teknobuga/article/view/6405/4856>
- Amriani., Hendrarto. B., dan Hadiyarto, A. 2011. Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Dan Seng (Zn) Pada Kerang Darah (*Anadara Granosa L.*) Dan Kerang Bakau (*Polymesoda Bengalensis L.*) Di Perairan Teluk Kendari . Jurnal Ilmu Lingkungan, Vol 9 (2): 45-50. <https://doi.org/10.14710/jil.9.2.45-50>
- Atdjas, D. 2016. Dampak Kadar Cadmium (Cd) dalam Tubuh Kerang Hijau (*Perna Viridis*) di Daerah Tambak Muara Karang Teluk Jakarta Terhadap Kesehatan Manusia. <http://polapikirmalukutenggarabarat.blogspot.co.id/2008/03/dampak-kadar-cadmium-terhadap-kesehatan.html>, 10-4-2016.
- Bhuyain, A.M.S.R.; Barman, S.K.; Hossain, M.M.; , Khan, M.M.H; , Mim, K.K.; dan Mazumder, S.K. 2022. Seasonal Dynamics of Heavy Metal Concentrations in Water and Fish from Hakaluki Haor of Bangladesh. *Conservation* 2022, 2, 473–484. <https://doi.org/10.3390>.
- Budiman, T.P., Dhahiyat, Y., dan Hamdani, H. 2012. Bioakumulasi logam berat Pb (Timbal) dan Cd (Kadmium) pada daging ikan yang tertangkap di Sungai Citarum Hulu. Jurnal Perikanan dan Kelautan. Vol 3 No. 4 Desember 2015: 261-270. <https://journal.unpad.ac.id/jpk/article/view/2569>
- Cahyani, N; Batu, D.T.F.L; dan Sulistiono, 2016. Heavy Metal Contain Pb, Hg, Cd and Cu in Whiting Fish (*Sillago sihama*) Muscle in Estuary of Donan River, Cilacap, Central Java. JPHPI 2016, Volume 19 Nomor 3: [267-276]. DOI: 10.17844/jphpi.2016.19.3.267
- Halmagyi, A; Butiuc-Keul, A; Keul, M; Dobrotă, C; Fodorpataki, L; Pintea, A; Mocan, A; Pop, V; dan Coste, A. 2023. Impact of Aries River Contaminants on Algae and Plants. *Toxics* 2023 (11), 817:[1-30]. <https://doi.org/10.3390/toxics11100817>
- Hastuti, E. D., Anggoro, S., & Pribadi, R. (2013). Pengaruh Jenis dan Kerapatan Vegetasi Mangrove terhadap Kandungan Cd dan Cr Sedimen di Wilayah Pesisir Semarang dan Demak. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, 2006, 331–336. Retrieved from <http://eprints.undip.ac.id/40685/>
- Herman, D. Z. 2006. Tinjauan terhadap *tailing* mengandung unsur pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dari sisa pengolahan bijih logam. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 1 No. 1 Maret 2006: 31-36.
- Hossain, M.B.; Tanjin, F.; Rahman, M.S.; Yu, J.; Akhter, S.; Noman, M. A.; dan Sun, J. 2022. Metals Bioaccumulation in 15 Commonly Consumed Fishes from the Lower Meghna River and Adjacent Areas of Bangladesh and Associated Human Health Hazards. *Toxics* 2022, 10, 139. <https://doi.org/10.3390/toxics10030139>: [1-18].
- Khairuddin, Yamin, M, & Syukur, A. 2016. Analisis Kualitas Air Kali Ancar dengan Menggunakan Bioindikator Makroinvertebrata. *Jurnal Biologi Tropis*, 16(2); <https://media.neliti.com/media/publications/76447-ID-analisis-kualitas-air-kali-ancar-dengan.pdf>
- Khairuddin, Yamin, M., dan Abdul Syukur, 2018. Analisis Kandungan Logam Berat pada Tumbuhan Mangrove Sebagai Bioindikator di Teluk Bima. *Jurnal Biologi Tropis*, Januari-Juni 2018: Volume 18 (1) p-ISSN: 1411-9587 e-ISSN: 2549-7863: [69-79]. DOI: [10.29303/jbt.v18i1.731](https://doi.org/10.29303/jbt.v18i1.731)
- Khairuddin, Yamin, M., Kusmiyati dan Zulkifli., L. 2021a. Pengenalan Tentang Model Akumulasi Logam Berat Hg dan Cd dalam Jaringan Makhluk Hidup Melalui Pelatihan pada Siswa MTsN 1 Kota Bima. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, Vol. 4 no. 4. [232-240]. <https://doi.org/10.29303/jpmpl.v4i4.1102>
- Khairuddin, M. Yamin, M.. dan Kusmiyati, 2021b. Analysis of Cd and Cu Heavy Metal

- Content in Climbing perch (*Anabas testudineus*) Derived from Rawa Taliwang Lake, West Sumbawa Regency. *Jurnal Biologi Tropis*, 22(1) : DOI : <http://dx.doi.org/10.29303/jbt.v22i1.3105> : [186 – 193].
- Khairuddin, M. Yamin, dan Kusmiyati. 2021c. Analisis Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) Pada Bandeng (*Chanos chanos* Forsk) yang Berasal Dari Kampung Melayu Kota Bima. *J. Pijar MIPA*, Vol. 16 No.1, Januari 2021: [97-102]. DOI: [10.29303/jpm.v16i1.2257](https://doi.org/10.29303/jpm.v16i1.2257)
- Khairuddin, M. Yamin and Kusmiyati. 2022. Analysis of Cd and Cu Heavy Metal Content in Climbing perch (*Anabas testudineus*) Derived from Rawa Taliwang Lake, West Sumbawa Regency, *Jurnal Biologi Tropis*, Vol. 22 No.1: [186 – 193]. <https://doi.org/10.29303/jbt.v22i1.3105>
- Khairuddin, Yamin, M., dan Kusmiyati. 2024. Analysis of The Heavy Metal Cd Content in Ricefield Eel from Rawa Taliwang Lake, West Sumbawa Regency. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(4), 1961–1968. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i4.7516>
- Mrajita, C.V.P. 2010. Kandungan Logam Berat pada Beberapa Biota Kekerangan di Kawasan Littoral Pulau Adonara (Kabupaten Flores Timur, Nusa Tenggara Timur) dan Aplikasinya dalam Analisis Keamanan Konsumsi Publik.Tesis. Program Magister Manajemen Sumberdaya
- Metwally, A.A; Khalafalah, M.M; dan Dawood, M.A.O. 2023. Water Qulity, human health risk, and Pesticides accumulation in African catfish and Nile Tilapia from the Kitchener Drain-Egypt. *Scientific report*, 2023 (13) :18482: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45264-3>
- Priyanto, N., & Ariyani, F. (2008). Kandungan logam berat (Hg, Pb, Cd, dan Cu) pada ikan, air, dan sedimen di Waduk Cirata, Jawa Barat. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 3(1), 69-78: DOI: [10.15578/jpbkp.v3i1.11](https://doi.org/10.15578/jpbkp.v3i1.11)
- Purnomo, T., & Muchyiddin, M. (2007). Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) di Tambak Kecamatan Gresik. *Neptunus*, 14, 68–77. Retrieved from <https://ojs.petra.ac.id/ojsnew/index.php/nep/article/view/16838>
- Rabajczyk, A., Józwiak, M.A., Józwiak, M., dan Kozłowski, R. 2011. Heavy Metals (Cd, Pb, Cu, Zn, Cr) in Bottom Sediments and the Recultivation of Kielce Lake. *Polish J. of Environ. Stud.* Vol. 20, No. 4 (2011), 1013-1019. [https://www.pjoes.com/pdf-88646-22505?filename=Heavy%20Metals%20\\_Cd\\_%20Pb\\_%20Cu\\_.pdf](https://www.pjoes.com/pdf-88646-22505?filename=Heavy%20Metals%20_Cd_%20Pb_%20Cu_.pdf)
- Riani, E; Johari, H.S; dan Cordova, M. R, 2017. Kontaminasi Pb Dan Cd Pada Ikan Bandeng *Chanos Chanos* Yang Dibudidaya Di Kepulauan Seribu, Jakarta. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, Vol. 9, No. 1: 235-246. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v9i1.17938>
- Rochyatun, E., Kaisupy, M. T., & Rozak, A. (2010). Distribusi Logam Berat dalam Air dan Sedimen di Perairan Muara Sungai Cisadane. *MAKARA of Science Series*, 10(1). <https://doi.org/10.7454/mss.v10i1.151>
- Rochyatun, E., & Rozak, A. (2010). Pemantauan Kadar Logam Berat dalam Sedimen di Perairan Teluk Jakarta. *MAKARA of Science Series*, 11(1). <https://doi.org/10.7454/mss.v11i1.228>
- Russell, D. J.; Thuesen, P. A.; Thomson, F. E. 2012. A review of the biology, ecology, distribution and control of Mozambique tilapia, *Oreochromis mossambicus* (Peters 1852) (Pisces: Cichlidae) with particular emphasis on invasive Australian populations". *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 22 (3): [533–554]. doi:10.1007/s11160-011-9249-z. ISSN 1573-5184.
- Sitorus, H. (2004). Analisis Beberapa Karakteristik Lingkungan Perairan yang Mempengaruhi Akumulasi Logam Berat Timbal dalam Tubuh Kerang Darah di Perairan Pesisir Timur Sumatera Utara (Analysis of Several Characteristics of Aquatic Environment which Affect on the Lead Accum). *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan*, 11(1), 53–60. Retrieved from <http://ilkom.journal.ipb.ac.id/index.php/jippi/article/view/7066>

- Syed, S; Qasim, S; Ejaz, M; Sammar; Khan, N; Ali, H; Zaker, H; Hatzidakis, E; Mamoulakis, C; Tsatsakis, A; Shah, S.T.A; dan Amir, S. 2023. Effects of Dichlorodiphenyltrichloroethane on the Female Reproductive Tract Leading to Infertility and Cancer: Systematic Search and Review. *Toxics* 2023 (11), 725. <https://doi.org/10.3390/toxics11090725>.
- Terfe, A; Mekonen, S; dan Jemal, T. 2023. Pesticide Residues and Effect of Household Processing in Commonly Consumed Vegetables in Jimma Zone, Southwest Ethiopia. *Journal of Environmental and Public Health* Volume 2023, Article ID 7503426, [1-12]. <https://doi.org/10.1155/2023/7503426>.
- Solgi, E., & Mirmohammadvali, S. (2021). Comparison of the Heavy Metals, Copper, Iron, Magnesium, Nickel, and Zinc Between Muscle and Gills of Four Benthic Fish Species from Shif Island (Iran). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 106(4), 658–664. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03155-1>
- Soraya, Y., Syafilla, M., & Salami, I. R. S. (2012). Effect of Temperature on the Accumulation and Depuration of Copper (Cu) and Cadmium (Cd) in Nile Tilapia Fish (*Oreochromis niloticus*). Retrieved from <https://www.ar.itb.ac.id/wp-content/uploads/si tes/8/2012/07/25309305-Yara-Soraya.pdf>
- Suryono, C.A. 2006. Bioakumulasi Logam Berat Melalui Sistem Jaringan Makanan dan Lingkungan pada Kerang Bulu (*Anadara inflata*). *Jurnal Ilmu Kelautan*. Maret 2006. Vol. 11 (1): 19 – 22. Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan UNDIP, Semarang
- Tasselli, S; Mariali, L; Roscioli, C; dan Guzzella, L, 2023. Legacy Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) Pollution in a River Ecosystem: Sediment Contamination ang Bioaccumulation in Benthic Invertebrates. *Sustainability*, 2031 (15), 6493 : [1-18]. <https://doi.org/10.3390/su15086493>.
- Widowati, W., Sastiono, A., dan Yusuf, R. 2008. Efek Toksik Logam. Andi, Yogjakarta.
- Yoga, G. P., dan Sadi, N. H, 2016. Kajian Awal Rute Paparan Logam Berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) pada Ikan Gabus di Danau Sentani Provinsi Papua. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan MLI 2015*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12690/RIN/D5ZEQU>. <https://hdl.handle.net/20.500.12690/RIN/D5ZEQU>
- Yunanmalifah, M.A.; Khairuddin, dan M. Yamin. 2021. Analysis of Heavy Metal Content of Copper (Cu) in Milkfish (*Chanos chanos* Forsk) from Milkfish Farms in Bima Bay 2020. *Jurnal Biologi Tropis*, 21 (3): 778 – 782
- Yusuf, M dan Handoyo, G. 2004. Dampak Pencemaran Terhadap Kualitas Perairan dan Strategi Adaptasi Organisme Makrobenthos di Perairan Pulau Tirangcawang Semarang. *Jurnal Ilmu Kelautan*. Maret 2004. Vol. 9 (1) : 12- 42. Jurusan Ilmu Kelautan-FPIK UNDIP, Semarang
- Zulfiah, A., Seniwati, S., & Sukmawati, S., 2017. Analisis Kadar Timbal (Pb), Seng (Zn) Dan Tembaga (Cu) Pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) Yang Berasal Dari Labbakkang Kab. Pangkep Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *As-Syifa Jurnal Farmasi*, 9(1), 85-91. <https://jurnal.farmasi.umi.ac.id/index.php/as-syifa/article/view/257>