

BAB II

TINJAUAN TEORI PENCEMARAN LINGKUNGAN, LOGAM BERAT MANGAN, AIR IRIGASI, TANAH DAN SAYURAN KANGKUNG

A. Industri

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia No. 3 Tahun (2014, hlm 2) pengertian industri dinyatakan sebagai “Kegiatan ekonomi yang menggunakan sumber daya industri untuk menghasilkan barang dengan nilai tambah atau bermanfaat, termasuk jasa industri”. Keberadaan industri dapat memberikan manfaat positif bagi masyarakat karena dapat meningkatkan taraf hidup dan kemakmuran. Namun perkembangan industri di suatu wilayah juga dapat meningkatkan pencemaran lingkungan, karena industri tidak hanya menghasilkan barang dengan nilai namun juga menghasilkan limbah. Limbah dari industri yang dihasilkan dari kegiatan industri biasanya terdiri dari 3 macam yaitu limbah padat, cair dan gas. Selain itu limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri juga dapat memiliki sifat berbahaya dan beracun atau sering disebut sebagai limbah B3. Limbah B3 yang dihasilkan industri dapat berupa logam berat, sianida, pestisida, cat dan pewarna, minyak, pelarut, dan bahan kimia berbahaya lainnya (Nursabrina et al., 2021, hlm 81).

B. Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan merupakan suatu perubahan yang tidak menguntungkan, hal ini dapat terjadi karena perubahan penggunaan energi dan material, paparan radiasi, pola material fisik dan kimia dari aktivitas dari manusia. Erfandi & Juarsah (2014, hlm 159) mengatakan lingkungan tercemar adalah lingkungan yang keseimbangan ekologisnya terganggu karena terlepasnya bahan pencemar ke lingkungan. Walaupun ekosistem memiliki kemampuan bertahan terhadap perubahan namun hal ini dapat terkalahkan oleh kegiatan manusia yang

merupakan faktor terpenting dalam pencemaran contohnya limbah rumah tangga, industri maupun pertanian (Yusuf et al. 2016, hlm 57; Poedjirahajoe, 2018, hlm 24). Pencemaran lingkungan yang terjadi secara bertahap dapat merusak lingkungan. Ayuningtias (2019, hlm 5) menjelaskan pencemaran lingkungan terjadi ketika siklus material lingkungan berubah dan keseimbangan antara struktur dan fungsi hilang, ketidakseimbangan ini dapat terjadi secara natural atau karena perilaku manusia. Pencemaran lingkungan juga dapat menyebabkan perubahan habitat, kualitas abiotik yang berdampak pada hilangnya beberapa spesies flora dan fauna (Poedjirahajoe, 2018, hlm 18). Berdasarkan konsep-konsep diatas dapat disimpulkan bahwa pencemaran lingkungan merupakan akibat dari terlepasnya bahan pencemar secara bertahap yang kemudian mengakibatkan ketidakseimbangan daur materi sehingga struktur dan fungsi dari lingkungan menjadi terganggu, selain itu juga dapat menyebabkan perubahan habitat dan kualitas abiotik lingkungan, pencemaran lingkungan ini dapat terjadi karena dua faktor yaitu faktor alam dan perbuatan manusia (limbah rumah tangga, industri dan pertanian).

1. Macam-Macam Bahan Pencemar (Polutan)

Polutan merupakan zat, bahan atau materi yang dapat menyebabkan perubahan pada lingkungan. Sedangkan menurut Khasanah et al. (2021) polutan merupakan benda atau bahan yang dapat menyebabkan pencemaran dan membutuhkan bahan yang berasal dari makhluk hidup atau bahan pembenah tanah. Effendi dalam Pratiwi, (2017, hlm 8-9) menjelaskan bahwa polutan terdiri dari dua kategori yaitu berdasarkan cara masuknya dan berdasarkan sifat toksiknya, sebagai berikut:

a. Berdasarkan cara masuknya

Polutan masuk secara alamiah contohnya polutan akibat tanah longsor, banjir dan fenomena alam lainnya, selain itu polutan juga dapat masuk karena adanya kegiatan manusia (Polutan antropogenik) contohnya polutan akibat kegiatan domestik, perkotaan dan industri.

b. Berdasarkan sifat toksiknya

Bahan pencemar dibagi menjadi polutan toksik dan polutan non-toksik. Polutan Toksik dapat berupa bahan kimia (logam), pestisida, deterjen dan bahan buatan

lainnya. Polutan toksik dapat menyebabkan pertumbuhan terganggu, perubahan tingkah laku dan morfologi bahkan kematian. Sedangkan polutan non-toksik biasanya dapat berupa bahan tersuspensi dan nutrient dan sudah ada dalam ekosistem secara alami.

C. Pencemaran pada Pertanian

Pencemaran pada pertanian dapat didefinisikan sebagai kondisi dimana masuknya polutan ke dalam lingkungan pertanian. Erfandi & Juarsah (2014, hlm 159) menjelaskan bahwa penyebab pencemaran di lahan pertanian dapat dikategorikan menjadi dua yaitu kegiatan yang bukan berasal dari pertanian (industri, tambang, kegiatan rumah tangga) dan kegiatan yang berasal dari pertanian (penggunaan pupuk baik itu pupuk kimia ataupun pupuk alami, dan penggunaan pestisida). Pencemaran pada pertanian dapat terjadi pada berbagai komponen pertanian seperti contohnya pada tanah, air dan tanaman.

1. Pencemaran pada Tanah

Ramli & Baderan (2009, hlm 88) menjelaskan bahwa sumber pencemaran tanah dapat terjadi secara langsung (penggunaan pupuk, insektisida berlebihan) ataupun tidak langsung (melalui air atau udara), sementara Erfandi & Juarsah (2014, hlm 159) menjelaskan bahwa lahan pertanian dapat tercemar dari dua sumber yaitu dari pertanian dan non pertanian, sumber non pertanian biasanya berasal dari kegiatan manusia seperti rumah tangga, industri bahkan pertambangan, sedangkan dari pertanian yaitu berasal dari aktivitas pemberian pupuk pada tanaman. Pencemaran tanah dapat disebabkan oleh B3, karena senyawa ini dapat mengendap di dalam tanah. Selanjutnya Erfandi & Juarsah (2014, hlm 160) menjelaskan bahwa senyawa B3 dapat mengubah sifat fisik, kimia dan biologi tanah sehingga produktivitas tanah menurun. Berdasarkan konsep-konsep diatas maka dapat disimpulkan bahwa Pencemaran tanah merupakan suatu kondisi masuknya bahan pencemar pada tanah yang dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung dan dapat disebabkan oleh B3 sehingga dapat menyebabkan produktivitas tanah menurun.

2. Pencemaran pada Air

Pencemaran air merupakan suatu kondisi air terdapat bahan pencemar (polutan) sehingga dapat menyebabkan perubahan yang tidak diharapkan. Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun (2001, hlm 3) menjelaskan bahwa “Pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya”. Selanjutnya Ayuningtias, (2019, hlm 25) menjelaskan bahwa dampak yang ditimbulkan oleh pencemaran air bukan hanya pada makhluk hidup namun dapat mengganggu keindahan contohnya genangan minyak dan bahan lain yang mengapung di badan air. Berdasarkan konsep-konsep diatas maka dapat disimpulkan bahwa pencemaran air merupakan kondisi dimana masuknya polutan ke dalam air sehingga terjadi penurunan kualitas air yang kemudian dapat menimbulkan dampak negatif bagi makhluk hidup. Poedjirahajoe (2018, hlm 78) menambahkan bahwa limbah dari kegiatan industri merupakan penyebab utama pencemaran air.

3. Pencemaran pada Tanaman

Pencemaran pada tanaman dapat terjadi melalui paparan udara atau dapat berasal dari tanah yang tercemar, sedangkan polutan pada tanaman dapat berupa residu penggunaan pestisida, pupuk kimia, dan logam berat. Pencemaran residu pestisida disebabkan karena penggunaan pestisida yang diaplikasikan langsung pada tanaman (Arif, 2015, hlm 139). Penggunaan pestisida yang diaplikasikan secara langsung ke tanaman bertujuan untuk mengatasi hama dan penyakit tanaman, namun ternyata hal ini akan menghasilkan residu yang membahayakan tanaman. Penggunaan pupuk kimia yang berlebihan juga dapat menyebabkan penurunan pada produksi tanaman.

D. Mekanisme Penyerapan dan Translokasi Logam Berat pada Tanaman

Mekanisme penyerapan logam dapat terjadi melalui dua jenis serapan yaitu melalui serapan akar dan serapan daun namun umumnya dari akar, seperti yang

dijelaskan oleh Edelstein & Ben-Hur (2017, hlm 4) bahwa utamanya serapan akar menjadi jalan masuk logam namun serapan daun juga mungkin terjadi. Pada mekanisme penyerapan logam berat oleh akar, tumbuhan mengaktifkan logam berat di dalam tanah dengan cara mengeluarkan senyawa organik, membentuk kelat logam stabil sehingga mengurangi kerusakan yang diakibatkan oleh logam berat serta mengatur penyerapan dan translokasinya, kemudian logam yang diserap akan diubah menjadi bentuk kimia anorganik yang unik serta dapat larut dalam air meliputi: pektat dan protein; fosfat logam; dan bentuk oksalat logam (Xiao et al., 2020, hlm 2). Edelstein & Ben-Hur (2017, hlm 5) melanjutkan bahwa terdapat jalur ion logam memasuki akar yaitu secara apoplastik dan simplastik, karena ion logam bersifat tidak larut dan tidak dapat bergerak sendiri dalam sistem vaskuler. Logam berat yang masuk ke tanaman dapat terakumulasi di dalam akar, atau juga dapat ditranslokasikan ke bagian lain seperti batang dan daun, melalui xilem namun terlebih dahulu harus melewati membran plasma. Mekanisme ion logam melewati membran plasma dimediasi oleh protein transport secara transport aktif. Namun kemampuan tanaman dalam mentranslokasikan logam berat berbeda-beda, tergantung dengan jenis logam berat dan tanamannya. Sedangkan penyerapan logam berat oleh daun dapat terjadi melalui paparan udara yang tercemar, kemudian mengendap pada permukaan daun. Fernández dan Brown dalam Edelstein & Ben-Hur, 2017, hlm 6) menjelaskan stomata, *aqueous pore*, lubang dan celah daun menjadi jalan penyerapan logam pada daun.

E. Logam Berat

Erfandi & Juarsah, (2014, hlm 160) menjelaskan bahwa logam berat merupakan kesatuan logam dengan berat jenis $>5 \text{ g/cm}^3$. Logam berat merupakan istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan kelompok logam atau semi logam yang berkaitan dengan cemaran (Kurniawan & Mustikasari, 2019, hlm 409). Umumnya logam berat memiliki sifat yang toksik berbahaya sehingga dapat menginduksi stres oksidatif, kerusakan DNA, kanker, hingga kematian sel (Kim et al. dalam Kurniawan & Mustikasari, 2019, hlm 409). Berdasarkan konsep-konsep yang telah dikemukakan dapat disimpulkan bahwa logam berat merupakan kelompok logam dan semi logam dengan berat jenis 5 g/cm^3 yang bersifat toksik.

1. Macam-Macam Logam Berat

Logam berat dikategorikan menjadi dua kelompok yaitu logam berat esensial dan non esensial. Susantoro & Andayani (2019, hlm 2) menjelaskan bahwa beberapa logam berat dapat menjadi nutrisi mikro bagi makhluk hidup. Pendapat serupa dikemukakan oleh Muhammad et al (2019, hlm 1) bahwa logam berat esensial diperlukan untuk fungsi fisiologi makhluk hidup contohnya besi (Fe), tembaga (Cu), mangan (Mn) dan seng (Zn). Pada konsentrasi tertentu logam berat dapat berfungsi sebagai mikronutrien dan membantu mekanisme kontrol (Kurniawan & Mustikasari, 2019, hlm 409). Sedangkan logam berat non-essensial adalah beberapa logam berat yang tidak dibutuhkan walaupun dengan jumlah kecil, misalnya Merkuri (Hg), Cadmium (Cd), dan Timbal (Pb). Logam-logam tersebut bersifat karsinogenik karena dapat menyebabkan kanker, dimana dapat berdampak pada organ ekskresi, darah, sistem saraf, tulang, otot dan kulit (Muhammad et al., 2019, hlm 1). Berdasarkan konsep-konsep diatas dapat disimpulkan bahwa logam berat dapat digolongkan menjadi 2 kelompok besar yaitu logam berat esensial (dibutuhkan makhluk hidup dalam batasan jumlah tertentu) dan logam berat non esensial (tidak dibutuhkan oleh makhluk hidup).

2. Toksisitas Logam Berat

Pencemaran logam berat sangat berbahaya bagi kehidupan terutama bagi perairan. Sumber dan penyebab pencemaran logam berat dapat berupa limbah industri, kegiatan pertambangan dan limbah rumah tangga (Erfandi & Juarsah, 2014, hlm 161). Kualitas air (secara kimia) dapat menurun karena adanya logam berat dari hasil aktivitas tambang sebagai contoh membongkar lapisan-lapisan batuan di dalam tanah. Sedangkan Pahrudin (2017, hlm 526) sisa pupuk dan pestisida dapat mengakibatkan pencemaran air pada perkebunan. Berdasarkan konsep-konsep yang sudah dijelaskan dapat disimpulkan bahwa pencemaran logam berat dapat disebabkan karena beberapa kegiatan contohnya pertambangan, kegiatan rumah tangga, bahkan kegiatan perkebunan. Foy, Yang dan Huang dalam Pan et al. (2018, hlm 654) menjelaskan bahwa dua kemungkinan daerah yang banyak terkandung mangan yaitu daerah dekat tambang mangan (tailing) dan tanah

bersifat asam (pH dibawah 5,5). Berikut disajikan tabel mengenai kadar logam berat pada jenis pupuk P dan pupuk N yang bersumber dari Buku *Teknologi Pengendalian Pencemaran Logam Berat*.

Tabel 2.1 Kandungan Logam Berat Pada Beberapa Jenis Pupuk Anorganik

Logam berat	Pupuk P	Pupuk N
	mg/kg	
Arsen	2 – 1.200	2,2 – 120
Boron	5 - 115	-
Kadmium	0,1 – 170	0,05 – 8,5
Kobal	1 – 12	5,4 – 12
Kromium	66 – 245	3,2 – 19
Tembaga	1 – 300	-
Air raksa	0,01 – 1,2	0,3 – 2,9
Timah (Timbal)	40 – 2.000	-
Mangan	0,1 – 60	1 – 7
Molibdenum	7 – 38	7 – 34
Nikel	7 – 225	227
Selenium	0,5	-
Uranium	30 – 300	-
Vanadium	2 – 1.600	-
Seng	50 – 1450	1 – 41

(Sumber: Setyorini dalam Erfandi & Juarsah, 2014)

Pencemaran logam berat yang dihasilkan dari industri biasanya berasal dari bahan baku yang digunakan. Limbah yang tidak melalui proses pengolahan merupakan sisa komponen yang sama seperti bahan induknya sehingga limbah yang dihasilkan dapat membahayakan lingkungan. Pernyataan yang sama dijelaskan oleh Nursabrina et al. (2021, 81) limbah industri yang dibuang langsung tanpa dikelola berpotensi mengandung B3 yang berbahaya bagi keselamatan makhluk hidup.

3. Logam Mangan

Mangan merupakan logam yang memiliki warna perak metalik, pada tabel periodik unsur Mn terdapat pada bagian transisi dan memiliki nomor atom 25 (Safitri, 2019, hlm 9). Pada air logam mangan stabil dengan bentuk Mn^{2+} dan Mn^{4+} , mangan juga dapat ditemui dalam bentuk batuan (manganolite) di alam. Batuan ini merupakan kelas batuan sedimen yang merupakan hasil dari proses siklus penuh sedimentogenesis (penghancuran fisik dan kimia) (Kuleshov, 2017, hlm 1).



Gambar 2.1 Logam Mangan
(Sumber: Tomihahndorf, 2006)

Logam mangan dapat mengakibatkan pencemaran terutama di tanah dan air, karena sifatnya yang sulit terdegradasi, konsep ini diperkuat dengan pernyataan Safitri (2019, hlm 13) yang menyatakan bahwa logam mangan memiliki berat jenis $7,4 \text{ g/cm}^3$ dan sulit untuk hancur sehingga persisten ada di lingkungan. Unsur mangan termasuk ke dalam logam esensial, karena dibutuhkan sebagai komponen penyusun enzim yang dibutuhkan dalam metabolisme. Balachandran et al, (2020, hlm 6312) menjelaskan bahwa beberapa enzim dalam tubuh bergantung pada logam mangan. Bijih mangan dapat ditemukan pada material induk yang mempengaruhi sifat kimia tanah, sehingga memungkinkan untuk budidaya tanaman pangan (Šahinović et al., 2018, hlm 31). Berdasarkan kedua pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa logam mangan merupakan unsur yang dapat mempengaruhi metabolisme. Namun jika asupan mangan berlebihan dapat berdampak buruk bagi tubuh contohnya dapat memicu gangguan fungsi organ dalam seperti paru-paru, hati, dan juga dapat menyebabkan kegagalan perkembangan janin serta otak, selain itu Balachandran et al. (2020, hlm 6312) menjelaskan bahwa kelebihan mangan

dapat merugikan karena dapat menyebabkan penyakit dan terakumulasi di daerah tertentu di otak, hal ini terjadi sebagai akibat dari paparan berlebih yang bersumber dari lingkungan, paparan pekerjaan, bahkan makanan dan air minum. Safitri (2019, hlm 11) menjelaskan bahwa mangan dapat diolah menjadi berbagai produk industri seperti formula *stainless steel*, *alloy*, sedangkan dalam bentuk lainnya mangan seperti mangan dioksida dapat dimanfaatkan menjadi bahan baterai kering, katalisator keramik, dan bahan pewarna kaca. Kuleshov (2017, hlm 1) menjelaskan bahwa utamanya mangan 90% mangan digunakan dalam industri metalurgi dan biasanya dibuat menjadi ferromanganese, siliconmanganese, dan logam mangan, dan mangan dibuat menjadi paduan logam nonferrous (tembaga, aluminium dan nikel) dalam jumlah yang relatif kecil, 5-10% mangan digunakan dalam industri kelistrikan (baterai kering), industri kimia dan industri keramik dan kaca, sedangkan pada pertanian merupakan bahan tambahan dalam pupuk mineral.

Nilai batas ambang untuk logam mangan (Mn) yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dan Universitas Dalhousie Kanada dalam Erfandi & Juarsah, 2014, hlm 167) pada tanah adalah sebesar 1.500 ppm, sementara itu Šahinović et al. (2018, hlm 33) mengungkapkan bahwa nilai ambang batas aman untuk logam berat mangan (Mn) pada tanah adalah 1000 mg/kg. Sedangkan pada air irigasi FAO (1985, hlm 96) menetapkan baku mutu logam mangan sebesar 0,2 mg/L dan pada sayuran baku mutu mangan yang diungkapkan oleh Šahinović et al. (2018, hlm 220) adalah sebesar 400 mg/kg.

F. Air Irigasi

Air merupakan suatu komponen penting dalam kehidupan karena dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan yaitu kebutuhan kerumahtanggaan, pangan dan pertanian, sanitasi, lingkungan transport bahkan industri (Pasandaran et al., 2006, hlm 11). Air juga penting bagi hewan dan tumbuhan, air dimanfaatkan oleh hewan untuk memenuhi kebutuhan akan minum, sedangkan pada tumbuhan air dibutuhkan dalam pertumbuhan tanaman. (Wiguna, (2019, hlm 1) menjelaskan bahwa jumlah air yang tersedia dapat mempengaruhi masa pertumbuhan tanaman. Terdapat lima sumber air yang diperlukan tanaman untuk tumbuh dan berkembang yaitu:

presipitasi, air atmosfer selain presipitasi, air permukaan, air tanah, dan air irigasi, pada pertanian utamanya menggunakan air irigasi untuk menyirami tanamannya.

1. Mutu Air

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun (2001) mutu air diklasifikasikan menjadi empat kategori yaitu:

- a. Kelas I, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau kebutuhan lain dengan syarat mutu air yang sama;
- b. Kelas II, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana wisata air, budidaya ikan air tawar, ternak, pengairan tanaman, dan atau dan atau kebutuhan lain dengan syarat mutu air yang sama;
- c. Kelas III, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk budidaya ikan air tawar, ternak, pengairan tanaman, dan atau dan atau kebutuhan lain dengan syarat mutu air yang sama;
- d. Kelas IV, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pengairan tanaman, dan atau dan atau kebutuhan lain dengan syarat mutu air yang sama.

Irigasi merupakan saluran-saluran air yang dapat dimanfaatkan guna mengairi persawahan. Menurut Peraturan Pemerintah No. 20 Tahun (2006, hlm 2) menyatakan pengertian “Irigasi adalah usaha penyediaan, pengaturan, dan pembuangan air irigasi untuk menunjang pertanian yang jenisnya meliputi irigasi permukaan, irigasi rawa, irigasi air bawah tanah, irigasi pompa, dan irigasi tambak”. Sedangkan A. K. Sari (2019, hlm 48) mengemukakan bahwa irigasi merupakan saluran-saluran air untuk memenuhi kebutuhan air pada persawahan yang bersifat stabil sehingga memudahkan dalam pengairan sawah. Konsep serupa juga dikemukakan oleh Setiadi & Abdul Muhaemin (2018, hlm 96) bahwa irigasi merupakan upaya memindahkan air dengan memanfaatkan gravitasi atau bantuan pompa air dari suatu sumber ke lahan-lahan pertanian. Berdasarkan konsep-konsep tersebut dapat disimpulkan bahwa pengertian irigasi adalah usaha pemasokan, pengelolaan dan pengeluaran air yang dapat dilakukan secara alamiah atau bantuan alat sehingga memudahkan pengairan untuk pertanian.

2. Kategori Irigasi

Majid (2020, hlm 5) menjelaskan bahwa sistem irigasi dapat mengoptimalkan air yang ada pada tanah. Terdapat empat kategori irigasi berdasarkan proses penyediaan, pemberian, pengelolaan, dan pengaturan air, yaitu :

- a. Irigasi permukaan, prinsip dari sistem irigasi ini adalah dengan penggenangan air.
- b. Irigasi bawah permukaan, dengan pemberian air pada tanaman menggunakan prinsip resapan
- c. Irigasi dengan pemancaran, sistem irigasi ini mula-mula air akan dipancarkan ke udara, setelah itu air jatuh ke permukaan tanah
- d. Irigasi dengan tetesan, sistem irigasi ini menggunakan bantuan pipa-pipa yang diberi lubang pada tempat tertentu sehingga dapat menjadi jalan keluar air menetes ke tanah.

G. Tanah

Tanah merupakan media yang di dalamnya terdapat unsur yang dibutuhkan tanaman supaya bertumbuh dengan baik (Erikson et al., 2021, hlm 146). Tanah mengandung berbagai zat terlarut dalam bentuk ion positif dan negatif. Umumnya dalam suasana aerob akan ditemukan ion H^+ , Al^{3+} , dan Fe^{3+} , sedangkan pada suasana anaerob akan ditemukan Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+ , Mn^+ dan NH_4^+ (Erfandi & Juarsah, 2014, hlm 161) sehingga dapat menjadi tempat tumbuh dan reproduksi tanaman Suryaningsih et al., (2018, hlm 134). Berdasarkan konsep-konsep tersebut maka dapat disimpulkan bahwa tanah merupakan suatu media yang kaya akan zaat terlarut yang dibutuhkan tanaman untuk bertumbuh. Representasi mengenai status ketersediaan unsur hara dalam tanah dan kemungkinan terdapat senyawa-senyawa racun ditentukan oleh kesuburan tanah (Basuki et al., 2018, hlm 12), kemudian (Gregorich, Doran, Zeiss dalam Suprihatin & Amirrullah, 2018, hlm 53) menambahkan bahwa beberapa aspek seperti pH, kandungan bahan organik dan N-total berpengaruh terhadap mutu tanah. Erikson et al. (2021, hlm 147) menjelaskan bahwa sifat fisik, biologi dan kimia (pH, KTK serta unsur hara) tanah menentukan kualitas tanah, Suprihatin & Amirrullah, (2018, hlm 51) melanjutkan bahwa karakter fisik tanah berupa bertanggung jawab atas proses angkut udara, panas, air dan bahan terlarut di dalam tanah, umumnya di tanah sifat fisik tanah bervariasi dan dapat berubah karena adanya pembenahan tanah contohnya pembenahan terhadap

temperatur, kemampuan meloloskan partikel, penggikatan dan suplai air bagi tanaman. Berbagai variabel tersebut dapat mempengaruhi produksi tanaman. Basuki et al. (2018, hlm 4) menjelaskan bahwa “pH tanah mempengaruhi hampir semua ketersediaan unsur hara bagi tanaman, pH tanah yang netral umumnya berkisar antara 4,5 - 6,6 yang juga optimum untuk pertumbuhan tanaman”. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Fadilla (2020, hlm 149) menyatakan bahwa pemberian pupuk secara intensif terhadap tanah akan menyebabkan peningkatan keasaman tanah. Berdasarkan konsep-konsep diatas maka dapat disimpulkan bahwa kualitas tanah tergantung dengan adanya komponen-komponen yang ada di dala tanah.

H. Sayuran Kangkung

Tanaman kangkung merupakan tanaman yang penyebarannya luas ke berbagai benua terutama Asia dan Afrika (Iskandar, 2018, hlm 246). Sayuran kangkung paling sering dikonsumsi oleh masyarakat, karena nutrisinya yang banyak mudah ditemui di Indonesia. Rarasati & Prihtanti (2020, hlm 141) juga menjelaskan bahwa komoditas kangkung (*Ipomoea aquatic* Forssk.) merupakan tanaman sayuran yang sangat dikenali dan menjadi menu makanan sehari-hari masyarakat Indonesia. Kangkung terdiri atas 2 macam yaitu kangkung darat dan kangkung air dimana keduanya banyak dikonsumsi masyarakat (Suryaningsih et al., 2018, 130). Mengonsumsi sayuran merupakan salah satu kebutuhan penting dalam perkembangan dan pertumbuhan, karena dapat menyediakan kebutuhan vitamin dan mineral bagi tubuh (Wibowo & Sitawati, 2017, hlm 149). Nutrisi yang baik dapat diperoleh dengan mengonsumsi sayuran yang memiliki kualitas baik. Sayuran yang memiliki kualitas baik dipengaruhi oleh jenis tanah dan penyiraman (Rinawati & Sofiatun, 2018, hlm 170), sementara untuk menghasilkan kangkung yang optimal kondisi air dan nutrient dalam media tanam perlu diperhatikan (Wibowo & Sitawati, 2017, hlm 149).

1. Klasifikasi Tanaman Kangkung Darat

Klasifikasi tanaman kangkung darat yang diambil dari Jayavarman, (2021, hlm 9) yaitu sebagai berikut:

<i>Kingdom</i>	: Plantae (Tumbuhan)
<i>Subkingdom</i>	: Viridiplantae (Tumbuhan hijau)
<i>Infrakingdom</i>	: Streptophyta (Tumbuhan darat)
<i>Superdivision</i>	: Embryophyta
<i>Division</i>	: Tracheophyta (Tumbuhan berpembuluh)
<i>Subdivision</i>	: Spermatophytina (Tumbuhan berbiji)
<i>Class</i>	: Magnolipsida (Berkeping dua)
<i>Superorder</i>	: Asteranae
<i>Order</i>	: Solanales
<i>Famili</i>	: Convolvulceae
<i>Genus</i>	: <i>Ipomoea</i> L.
<i>Spesies</i>	: <i>Ipomoea aquatic</i> Forssk (Kangkung darat).

2. Karakteristik Tanaman Kangkung

Tanaman kangkung juga termasuk tanaman dapat menyerap semua unsur yang terkandung di dalam tanah karena sifatnya yang tidak selektif (Anggis & Hamidah, 2019, hlm 98). Iskandar (2018, hlm 247) mengatakan bahwa kangkung darat memiliki akar tunggang dan bercabang-cabang, batangnya bulat berlubang, berbuku-buku dan banyak mengandung air, daunnya panjang dengan ujung runcing serta berwarna hijau keputih-putihan, sedangkan bunganya berbentuk seperti terompet warna putih atau kemerahan sehingga mudah dibedakan dengan kangkung air. Anggis & Hamidah (2019, hlm 98) menjelaskan bahwa kangkung memiliki daya adaptasi cukup baik pada iklim tropis, tumbuh baik pada badan air yang rendah seperti bantaran sungai, tidak selektif terhadap unsur hara tertentu sehingga dapat berperan sebagai fitoremediator dan bentuk fitoremediasi tanaman kangkung dapat berupa akumulasi pada akar, menurunnya pertumbuhan daun dan batang kangkung.

Sayuran daun seperti kangkung memiliki tingkat akumulasi logam berat yang besar pada bagian daun, seperti yang dijelaskan oleh Edelstein & Ben-Hur (2017, hlm 5) sayuran kembang kol, kubis, bayam dan kangkung merupakan sayuran berdaun yang dapat menyerap logam berat lebih baik pada lingkungan yang terkontaminasi dan akumulasi logam berat terjadi pada daun. Kangkung dengan akar yang banyak, daun batang hijau adalah ciri tanaman kangkung sehat (Anggis & Hamidah, 2019, hlm 101). Agar mendapatkan hasil produksi kangkung yang optimal diperlukan perhatian terhadap kandungan air, unsur hara, dan media tanam (Wibowo & Sitawati, 2017, hlm 149).

3. Kandungan Nutrisi pada Sayuran Kangkung

Kandungan vitamin dan mineral yang terdapat pada kangkung terdiri dari 89,7 gram air ; 3,0 gram protein; 0,3 gram lemak ; 5,4 gram karbohidrat ; 29 mg kalori ; 73 mg kalsium ; 50 mg potassium ; 2,5 mg besi, 32 mg vitamin C ; 6300 s.l vitamin A dan 0,07 mg vitamin B (Abidin et al., 1990 dalam Wibowo & Sitawati, 2017, hlm 149).

I. Faktor Klimatik

Faktor klimatik merupakan faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Faktor klimatik terdiri dari dua parameter, yakni parameter fisika dan kimia.

1. Parameter Fisika

a. Suhu udara

Parameter yang paling mudah untuk diteliti dan ditentukan adalah suhu. Dewanto et al. (2020, hlm 4301) menjelaskan bahwa suhu disebut sebagai derajat panas atau derajat dingin yang dikukur dengan termometer pada skala tertentu. Suhu udara dapat mengalami kenaikan karena adanya faktor iklim. Kualitas pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh kondisi ideal tertentu salah satunya adalah suhu udara (Triyanto et al., 2022, hlm 1). Produktivitas dari pertanian juga bergantung terhadap suhu udara. Dewanto et al. (2020, hlm 4305) melanjutkan bahwa suhu yang optimal untuk pertumbuhan kangkung berkisar 27-30 °C,

sedangkan Yamaguchi (1983, hlm 372) mengatakan bahwa kangkung dapat tumbuh optimal pada suhu diatas 25°C dan pada suhu dibawah 10°C pertumbuhannya terhambat. Kusnanto & Suryani, (2019, hlm 1) bahwa idealnya tanaman kangkung dapat tumbuh secara optimal pada kisaran suhu $25\text{-}30^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan ketiga pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa suhu yang bagus agar pertumbuhan kangkung optimal adalah sekitar $25\text{-}30^{\circ}\text{C}$. Tiro et al., (2017, hlm 84) mengemukakan bahwa pada suhu yang tinggi ion-ion tidak terserap oleh tanaman kangkung namun akan terjadi penguapan. Penguapan unsur hara dapat mengakibatkan pertumbuhan tanaman menjadi tidak optimal.

b. Intensitas Cahaya

Cahaya mengontrol berbagai aspek pada tanaman contohnya: ekspresi gen, metabolisme dan fisiologi tanaman secara keseluruhan, karena pada tanaman terdapat fotoreseptor yang dapat mendeteksi panjang gelombang cahaya tertentu sehingga dapat mengatur pertumbuhan dan perkembangan (Carvalho & Castillo, 2018, hlm 4). Setiap tanaman memiliki rentang intensitas cahaya yang berbeda-beda menyesuaikan dengan kebutuhannya. Intensitas cahaya yang rendah dapat menyebabkan proses fotosintesis tanaman kangkung berlangsung lambat karena stomata menutup sehingga difusi karbondioksida menjadi lambat dan akhirnya mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Biasanya hal ini terjadi pada saat pagi dan sore karena intensitas cahaya menurun (Nadila et al., 2021, hlm 818). Sedangkan pada saat intensitas cahaya berlebihan menghambat kerja hormon auksin sehingga menyebabkan penambahan tinggi tanaman menjadi lambat (Febriani et al., 2020, hlm 13). Berdasarkan kedua konsep sebelumnya maka dapat disimpulkan bahwa tinggi rendahnya intensitas pada lingkungan pertanian dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

1. Parameter Kimia

a. pH tanah

pH tanah merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap penyerapan unsur hara tanaman, karena pH yang rendah dapat mempengaruhi peningkatan unsur-unsur seperti besi, mangan dan aluminium yang mana jika kelarutannya

terlalu tinggi dapat berbahaya bagi tanaman (Erikson et al., 2021, hlm 148). Hal serupa dikemukakan oleh Timung et al., (2017, hlm 266) bahwa konsentrasi mangan dan aluminium dapat meningkat dan meracuni tanaman jika pH tanah berada pada kisaran 4,5, sedangkan pada saat pH tanah meningkat unsur hara logam menjadi menurun. pH tanah yang baik bagi tanaman kangkung yaitu pada pH netral. Berdasarkan konsep-konsep tersebut dapat disimpulkan bahwa pH tanah dapat berpengaruh terhadap ketersediaan unsur hara di tanah dan tanaman serta pH netral merupakan pH yang baik untuk pertumbuhan kangkung yang optimal.

J. Kecamatan Margaasih

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kabupaten Bandung (2020, hlm 1) Luas Kecamatan Margaasih sebesar 18,35 km². Kecamatan Margaasih berada di daerah lereng dan dataran, membentang dari perbatasan hutan hingga jalan tol, dengan ketinggian yang bervariasi antara 600-770 m (BPS Kabupaten Bandung, 2020). Kecamatan margaasih memiliki enam kelurahan, salah satunya adalah kelurahan Margaasih. Berdasarkan artikel yang diterbitkan oleh Website Resmi Desa Margaasih (2018, hlm 1), Kelurahan Margaasih memiliki luas 290,435 Ha, pada sebelah utara, timur, selatan, dan barat Desa Margaasih berbatasan dengan Kota Cimahi, Cigondewah Hilir, Desa Nanjung dan Desa lagadar secara berurutan. Desa Margaasih memiliki iklim tropis, rata-rata curah hujan sekitar 2.350 mm pertahun, suhu udara 20-26 dan kelembaban udara sebesar 70% pada musim hujan dan kemarau. Jarak dari Desa Margaasih ke kantor kecamatan sejauh 2,5 km sedangkan jarak ke Pusat Pemerintahan Kabupaten Bandung sejauh 12 km.

K. Penggunaan Alat AAS Dalam Menguji Kadar Logam Berat

Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) merupakan alat untuk menganalisis unsur secara kuantitatif. Alat ini digunakan pertama kali pada tahun 1915 (Yusuf et al., 2016, hlm 59). Penyerapan energi radiasi oleh atom-atom yang berada pada tingkat energi dasar menjadi prinsip kerja dari metode ini (Safitri, 2019, hlm 11). Analisis logam berat menggunakan AAS cocok untuk konsentrasi yang rendah sehingga hasil yang didapatkan spesifik (Yusuf et al., 2016, hlm 59).

Ferreira et al. (2018, hlm 3) mengatakan bahwa metode AAS dibagi menjadi tiga jenis metode yaitu *Flame Atomic Absorption Spectrometry* (FAAS), *Electrothermal Atomization Atomic Absorption Spectrometry* (ETAAS), dan *Chemical Vapor Generation Atomic Absorption Spectrometry* (CVG-AAS). Metode FAAS adalah metode yang paling sering digunakan karena sederhana walaupun dengan sensitivitas yang kecil. Metode ETAAS dapat digunakan untuk analisis sampel padat dan sensitivitasnya lebih besar dari pada FAAS, namun diperlukan optimasi yang efisien pada suhu dan pengubah kimia sehingga hasil yang didapatkan valid. Metode CVG-AAS merupakan metode yang memiliki sensitivitas sangat baik namun masih terbatas untuk beberapa logam.

Pramesti (2021, hlm 10-11) menjelaskan bahwa cara kerja AAS didasarkan pada prinsip penyerapan energi radiasi cahaya oleh atom dalam keadaan dasar karena setiap atom menyerap cahaya dengan gelombang tertentu dan bukan bergantung pada suhu benda. Maka penelitian ini menggunakan Instrumen AAS untuk mendeteksi adanya logam berat pada air irigasi, tanah dan tanaman kangkung, agar mendapatkan nilai logam berat yang spesifik.

L. Hasil Penelitian Terdahulu

Tabel 2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

No	Peneliti (Tahun)	Judul	Tempat Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
1	Said Muhammad, Rahim Ullah , Ishtiaq A.K. Jadoon (2019)	<i>Heavy metals contamination in soil and food and their evaluation for risk assessment in the Zhob and Loralai valleys, Baluchistan province, Pakistan</i>	2 Lembah, lembah Zhob (Distrik Zhob dan Killa-saifullah) dan Lorarai (Distrik Ziarat dan Lorarai), gunung serta dataran di bagian utara provinsi Baluchistan Pakistan barat	<ul style="list-style-type: none"> Sampel tanaman diambil dengan mencatat lokasi lintang dan bujur menggunakan sistem GPS Tanaman diambil dari pangkal, sedangkan sampel tanah diambil dari kedalaman sekitar 0-20 cm Analisis logam berat menggunakan AAS 	<ul style="list-style-type: none"> Konsentrasi logam berat tertinggi pada tanah yaitu logam besi (Fe) dan terendah pada cadmium (Cd). Cr dan Cd menunjukkan tingkat pencemaran yang signifikan dan Fe, Mn, Ni, Cu Pb dan Co dalam kategori sedang. Konsentrasi tertinggi untuk logam berat pada makanan yaitu pada besi dan terendah pada cadmium Berdasarkan evaluasi risiko kesehatan konsumsi makanan di lebah Loralai masih dalam batas aman, namun untuk anak-anak masih memprihatinkan 	<ul style="list-style-type: none"> Menguji kandungan logam berat pada sampel tanah dan makanan Analisis logam berat menggunakan AAS 	<ul style="list-style-type: none"> Tidak dilakukan pengujian terhadap sampel air Lokasi penelitian yang dilakukan di Pakistan Barat

2	Rafiul Alam, Zia Ahmed and M. Farhad Howladar, (2019)	<i>Evaluation of heavy metal contamination in Water, Soil and Plant around the Open Landfill Site Mogla Bazar in Sylhet, Bangladesh</i>	TPA dekat Sungai Surma-Kushiyara, MoglaBazar, Provinsi Sylhet Sadar Upazila, Bangladesh	<ul style="list-style-type: none"> • Sampel air diambil dari delapan stasiun yang berbeda • Sampel tanah diambil setiap interval 25 cm dari permukaan tanah • Sampel tanaman diambil dari 5 jenis tanaman yaitu ubi jalar, lobak, oyong atau gambas, terong dan padi. • Pengujian logam berat menggunakan instrumen AAS 	<ul style="list-style-type: none"> • Konsentrasi Fe, Mn, Cd, dan Pb dalam air lebih tinggi dari batas yang diperbolehkan. • Karena migrasi lindi, badan air yang berdekatan dan topografi dataran rendah bertanggung jawab atas akumulasi logam berat dalam air. Meskipun rata-rata penyerapan logam berat dalam tanah masih dalam batas yang diperbolehkan, beberapa daerah akan berisiko tinggi. • Konsentrasi Pb, Fe, dan Mn ditemukan lebih tinggi dari unsur-unsur lain di dalam tanah. • Konsentrasi Pb, Mn dan Zn pada beberapa tanaman lebih tinggi dari batas yang diperbolehkan. Luffaacutangula, Oryza sativa, dan Raphanussativus var. 	Penelitian ini sama-sama menguji kadar logam terhadap air, tanah dan tanaman yang berada di sekitaran lingkungan yang sudah tercemar	Sumber pencemaran dari TPA dan lokasi penelitian dilakukan di Bangladesh
---	---	---	---	---	--	--	--

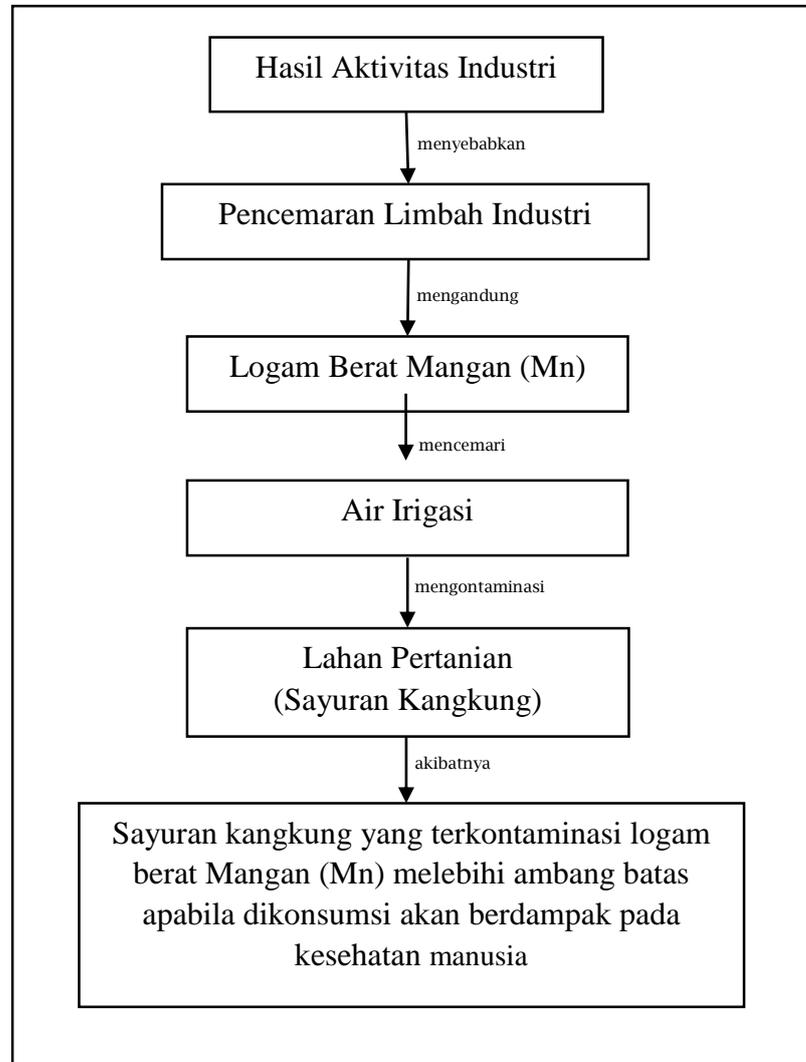
					<p>longipinnatus Teridentifikasi bahwa akumulasi logam beratnya lebih tinggi dibandingkan tanaman lain.</p> <ul style="list-style-type: none"> Berdasarkan indeks polusi logam berat bahwa sampel air sangat tercemar dan berdasarkan nilai TF bahwa logam Cu, Zn, dan Mn memiliki nilai tertinggi yang menunjukkan bahwa pergerakan logam pada tanaman lebih tinggi dibandingkan logam lainnya. 		
3	Uswatun Khasanah, Wanti Mindari , Penta Suryaminarsih, (2021)	Kajian Pencemaran Logam Berat Pada Lahan Sawah Di Kawasan Industri Kabupaten Sidoarjo	Area industri kabupaten Sidoarjo	<ul style="list-style-type: none"> Pengambilan sampel menggunakan teknik purposive sampling Analisis kandungan logam menggunakan AAS 	<ul style="list-style-type: none"> Hampir semua logam mencemari tanah sawah (seng, timbal, merkuri, tembaga, dan mangan), namun logam merkuri dan timbal menjadi perhatian terbesar karena dapat menimbulkan efek berbahaya bagi tubuh. Kapasitas Tukar Kation (KTK), tingkat keasaman, dan 	Lokasi penelitian dilakukan pada area industri Pengujian terhadap sampel tanah di lahan pertanian Teknik analisis data logam berat menggunakan AAS	Tidak menguji air dan tanaman serta lokasi penelitian dilakukan di Kabupaten Sidoarjo

					<p>bahan organik tanah dapat mempengaruhi ketersediaan logam berat pada tanah.</p> <ul style="list-style-type: none">• Hasil nilai Igeo mengungkapkan bahwa limbah industri merupakan sumber pencemaran logam pada tanah yang diteliti• Nilai didapatkan dari penelitian mengindikasikan pencemaran logam tidak berpotensi menimbulkan kerusakan ekologis.		
--	--	--	--	--	---	--	--

Dari ketiga penjelasan mengenai hasil penelitian terdahulu menjadi acuan dalam menentukan kondisi pencemaran dari hasil pengamatan penelitian ini. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Muhammad et al., (2019) kita dapat mengetahui bahwa pencemaran logam berat mangan pada tanah berada pada tingkat pencemaran sedang, sedangkan pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Alam et al., (2019) pencemaran logam berat mangan pada tanah berada di tingkat yang lebih tinggi dibandingkan dengan logam berat lainnya, begitu pula dengan pencemaran logam berat mangan pada tanaman, sedangkan pada air pencemaran logam berat mangan melebihi batas yang diperbolehkan, hal ini dikarenakan adanya migrasi lindi yang berdekatan topografi daratan rendah sehingga terjadi akumulasi logam berat dalam air. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Khasanah et al., (2021) diketahui bahwa terdapat pencemaran logam berat mangan pada tanah di area industri di Sidoarjo namun masih berada di bawah risiko kesehatan. Berdasarkan ketiga hasil penelitian juga kita memiliki acuan bahwa pencemaran logam berat mangan dapat disebabkan karena adanya ketersediaan mangan secara alami di alam dan limbah dari industri yang menyebabkan akumulasi logam berat mangan pada air, tanah dan tanaman menjadi meningkat, selain itu diketahui bahwa pH tanah dapat mempengaruhi ketersediaan logam berat di tanah.

M. Kerangka Pemikiran

Dibuatnya kerangka pemikiran ini bertujuan untuk mempermudah dalam pemahaman kajian teori yang telah disusun. Kerangka pemikiran ditampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Alur Akumulasi Logam Berat Mangan pada Sayuran Kangkung (Sumber: Dokumen pribadi)

Hasil aktivitas industri dapat mengakibatkan pencemaran limbah industri, Limbah hasil aktivitas industri mengandung bahan beracun berbahaya seperti logam berat, terutama logam mangan (Mn). Limbah yang tidak dikelola dengan baik dan kemudian dibuang oleh pabrik ke sungai akhirnya akan mengalir ke dalam air irigasi sehingga air irigasi ikut tercemar oleh limbah. Apabila air irigasi yang tercemar digunakan untuk mengairi pertanian, maka akan menyebabkan akumulasi

logam berat pada sayuran, selain itu air irigasi yang sudah terkontaminasi limbah industri juga dapat meningkatkan akumulasi logam berat mangan pada tanah. Logam berat yang terakumulasi di air irigasi dan tanah akan berpindah ke dalam tumbuhan melalui proses penyerapan di akar tanaman kemudian akan terakumulasi pada beberapa bagian seperti akar, batang dan daun. Sayuran merupakan kebutuhan pangan yang penting bagi tubuh sehingga manusia perlu mengkonsumsinya, namun jika pada sayuran kangkung terdapat akumulasi logam berat yang melebihi batas ambang maka dapat berbahaya bagi kesehatan tubuh apabila dikonsumsi, logam berat dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui siklus rantai makanan. Logam mangan sejatinya merupakan mineral mikro yang dibutuhkan oleh tubuh, namun jika asupan mangan berlebihan dapat menyebabkan gangguan pada sistem saraf bahkan pada kasus yang lebih parah dapat mengakibatkan kematian.

N. Keterkaitan Hasil Penelitian dengan Pembelajaran Biologi

Penelitian ini dapat menjadi gambaran yang konkret untuk peserta didik karena penelitian ini berhubungan dengan materi pencemaran lingkungan, dengan adanya penelitian ini peserta didik memiliki pengetahuan mengenai logam berat yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, selain itu dengan adanya data-data penunjang pada penelitian ini peserta didik juga dapat mengetahui bagaimana hubungan faktor klimatik terhadap ketersediaan logam berat di lingkungan.

Materi pembelajaran mengenai pencemaran lingkungan terdapat pada di kelas 10 semester genap Kompetensi Dasar (KD) 3.11 yaitu “Menganalisis data perubahan lingkungan, penyebab, dan dampaknya bagi kehidupan” dan 4.11 yaitu “Merumuskan gagasan pemecahan masalah perubahan lingkungan yang terjadi di lingkungan sekitar”. Dengan demikian data hasil penelitian ini dapat menjadi salah satu acuan atau bahan ajar bagi pembelajaran biologi.