

BAB II

TINJAUAN TEORI PENCEMARAN LINGKUNGAN, LOGAM BERAT BESI (FE), AIR IRIGASI, TANAH DAN SAYURAN KANGKUNG

A. Industri

Perkembangan industri berkembang dengan cepat dari waktu ke waktu, semakin cepat perkembangan industri dewasa ini sangat pesat mengikuti perkembangan zaman memberi dampak cukup besar terhadap lahan pertanian, industri pangan, dan industri (Agustin *et al.*, 2018, hlm. 162). Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun (2014) tentang perindustrian menyatakan “Industri sebagai kegiatan ekonomi yang menggunakan sumber daya industri untuk menghasilkan barang dengan nilai tambah atau manfaat termasuk jasa industri”.

Kehadiran industri di wilayah dapat memberikan manfaat positif bagi masyarakat karena dapat meningkatkan taraf hidup dan kemakmuran. Industri menyediakan lapangan pekerjaan dan menjadi salah satu sumber perekonomian masyarakat. Namun, perkembangan industri di suatu wilayah 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 tiga macam yaitu limbah padat, cair, dan gas. Selain itu limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri juga dapat memiliki sifat B3 (bahan berbahaya dan beracun) yakni limbah yang dihasilkan berupa logam berat, sianida, pestisida, cat pewarna, minyak, dan pelarut serta bahan kimia berbahaya lainnya (Nursabrina *et al.*, 2021, hlm. 81). Dengan demikian logam berat ini sering ditemukan disetiap jenis limbah industri karena air yang berasal dari limbah industri tidak melakukan pengolahan terlebih dahulu, sehingga semakin banyaknya limbah akan mengakibatkan pencemaran terutama pada sumber air irigasi yang mengalir membawa berbagai macam logam berat pada lahan pertanian (Caroline & Moa, 2015, hlm. 734).

B. Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan merupakan masalah yang paling sering menonjol saat ini dari mulai bertambahnya jumlah pabrik-pabrik yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan populasi yang terus bertambah.

1. Definisi Pencemaran Lingkungan

Menurut Tiro *et al.*, (2017, hlm. 81) mengungkapkan bahwa pencemaran lingkungan menjadi masalah yang sangat kritis bagi negara maju dan berkembang. Pada daerah areal pertanian, khususnya pencemaran industri persawahan dan perkebunan, logam berat terkonsentrasi tidak hanya di tanah, akar, dan daun, tetapi juga pada makanan yang dihasilkan sangat berbahaya jika didistribusikan ke masyarakat (Satpathy *et al.*, 2014 dalam Hidayat, 2015, hlm. 54).

Dari penjelasan tersebut maka dapat ditarik suatu kesimpulan, pencemaran lingkungan merupakan akibat dari terlepasnya bahan pencemar secara bertahap yang 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 maupun aktivitas manusia seperti limbah rumah tangga, pertanian, dan industri.

2. Macam-macam Bahan Pencemaran Lingkungan

Bahan pencemar (*pollutant*) merupakan *pollutant* yang berbahaya dan dapat menimbulkan pencemaran bagi kesehatan manusia dalam jangka waktu yang lama. *Pollutant* dibagi menjadi dua macam yang dijelaskan oleh Effendi (2013 dalam Pratiwi 2017, hlm. 4-5) antara lain sebagai berikut:

- a. Berdasarkan cara masuknya, bahan pencemar dibagi menjadi dua kategori yaitu *pollutant* masuk secara alamiah dan *pollutant* masuk akibat dari aktivitas manusia. *Pollutant* masuk secara alamiah, contohnya akibat tanah longsor, banjir, dan fenomena alam lainnya. Selain itu, *pollutant* juga dapat masuk karena berasal dari aktivitas manusia (*pollutant antropogenik*), contohnya *pollutant* akibat aktivitas domestik atau perumahan, aktivitas perkotaan, bahkan aktivitas industri.

- b. Berdasarkan sifat *toxicnya*, bahan pencemar dibagi menjadi dua kategori yaitu *pollutant toxic* dan *pollutant non-toxic*. *Pollutant toxic* berupa bahan kimia seperti logam berat, pestisida, deterjen, dan bahan buatan lainnya. *Pollutant toxic* dapat menyebabkan pertumbuhan terganggu, perubahan tingkah laku dan morfologi bahkan kematian. Sedangkan polutan *non-toxic* biasanya dapat berupa bahan padatan tersuspensi atau nutrisi yang sudah ada dalam ekosistem secara alami. Irhamni *et al.*, (2017, hlm. 80) menambahkan bahwa “Kandungan nutrisi dipengaruhi oleh beberapa faktor dalam larutan tanah dan transportasi ke akar tanaman yaitu pH tanah dan laju penguapan”.

Dari penjelasan tersebut maka dapat ditarik suatu kesimpulan, pencemaran lingkungan yang terjadi secara bertahap dapat merusak lingkungan. Pencemaran lingkungan terjadi karena adanya bahan pencemar yang masuk ke dalam lingkungan yang disebut dengan *pollutant*. *Pollutant* tersebut bercampur dengan komponen lingkungan lainnya yang disebut dengan *pollution* (pencemaran lingkungan). Pencemaran lingkungan tersebut bisa terjadi di air (*water pollution*), udara (*air pollution*), tanah (*soil pollution*), dan bahkan bisa saja dideteksi di semua komponen lingkungan tersebut (Dewata Indang & Danhas Yun Hendri, 2018, hlm. 5-6).

3. Jenis-jenis Pencemaran Lingkungan

Zat yang menyebabkan terjadinya pencemaran disebut *pollutant*. *Pollutant* adalah penambahan zat yang berbahaya bagi lingkungan. Penambahan ini, memberikan dampak negatif pada lingkungan dan kehidupan didalamnya (Kompas.com, 2021 dalam Rambulangi & Lullulangi, 2021, hlm. 430). Adapun jenis-jenis pencemaran lingkungan dibedakan menjadi tiga bagian antara lain sebagai berikut:

1) Pencemaran Air

Sesuai dengan namanya, pencemaran air adalah suatu zat pencemar atau suatu peristiwa yang menjadi bahan pencemar dalam air. Hal ini tidak bisa terus menerus dibiarkan terjadi, karena semua makhluk hidup membutuhkan air yang bersih atau tidak tercemar agar air tersebut berfungsi sebagaimana mestinya (Rambulangi & Lullulangi, 2021, hlm. 430-431). Ayuningtias (2019, hlm. 25) menjelaskan penyebab terjadinya pencemaran air bahwa pencemaran air tidak

hanya menimbulkan dampak negatif terhadap makhluk hidup, tetapi juga mengakibatkan gangguan secara estetika, seperti air yang mengandung minyak atau bahan lain yang mengapung di dalamnya. Lebih lanjut Mutawalli *et al.*, (2018, hlm. 36) menjelaskan bahwa penyebab utama pencemaran air adalah limbah berasal dari kegiatan industri yang disebabkan oleh aktivitas manusia.

2) Pencemaran Udara

Seperti halnya pencemaran air, pencemaran udara adalah kegiatan yang memasukkan bahan pencemar ke udara. Meskipun udara tidak terlihat, namun udara dapat kita rasakan keberadaannya, jika kita bernafas dengan udara yang tercemar biasanya kita bakal merasa tidak nyaman, atau malah sampai batuk-batuk (Rambulangi & Lullulangi, 2021, hlm. 431). Pencemaran udara tidak selalu dikarenakan oleh ulah manusia melainkan dapat juga disebabkan oleh fenomena alam yang membawa partikel-partikel logam yang berbahaya. Selain itu, lebih lanjut Rofik & Mokhtar (2021, hlm. 103) menjelaskan penyebab terjadinya pencemaran udara bahwa penyebab utama pencemaran udara khususnya di Indonesia biasanya muncul seperti pencemaran kendaraan bermotor dan bermobil
... .

3) Pencemaran Tanah

Tanah dapat dikatakan telah tercemar jika sudah tidak lagi digunakan untuk kebutuhan manusia seperti dalam pertanian yaitu bercocok tanam. Selain itu, tanah yang gersang juga salah satu ciri tanah yang sudah tercemar (Rofik & Mokhtar, 2021, hlm. 104). Pencemaran tanah dapat disebabkan oleh B3 (bahan berbahaya dan beracun), karena senyawa ini dapat mengendap di dalam tanah. Erfandi & Juarsah (2014, hlm 160) menjelaskan bahwa senyawa B3 (bahan berbahaya dan beracun) dapat mengubah sifat fisik, kimia dan biologi tanah, sehingga produktivitas tanah menurun. Selain itu, lebih lanjut Rofik & Mokhtar (2021, hlm. 104) menjelaskan bahwa senyawa asam, pestisida berlebih, pupuk kimia, limbah industri, pabrik, dan juga nuklir, serta limbah rumah tangga seperti deterjen.

C. Logam Berat

Logam berat merupakan suatu bahan yang memiliki sifat beracun (*toxic*), namun terdapat juga yang bermanfaat bagi makhluk hidup dengan jumlah tertentu.

1. Definisi Logam Berat

Menurut Kurniawan & Mustikasari (2019, hlm. 409) mengatakan logam berat (*heavy metal*) adalah istilah umum untuk sekelompok logam atau metaloid yang berkaitan dengan pencemaran lingkungan. Selain itu, lebih lanjut Adhani & Husaini (2017, hlm. 20) dalam bukunya menyatakan bahwa logam berat juga menjadi bahan pencemar yang tidak dapat dihancurkan, sehingga akan terakumulasi di alam dan di dalam tubuh organisme. Logam berat umumnya merupakan B3 (bahan berbahaya dan beracun) yang dapat menyebabkan stres oksidatif, kerusakan DNA, kanker, dan kematian sel (Kim *et al.*, 2015 dalam Kurniawan & Mustikasari, 2019, hlm. 409). Connel & Miller (2006 dalam Adhani & Husaini, 2017 hlm. 76) menjelaskan bahwa logam berat merupakan unsur logam dengan berat molekul tinggi berat jenis lebih dari 5 gr/cm^3 . Logam berat termasuk unsur penting yang diperlukan makhluk hidup dan organisme lainnya.

Dari penjelasan tersebut maka dapat ditarik suatu kesimpulan, logam berat merupakan unsur kimia alami yang mempunyai berat jenis lebih dari 5 gr/cm^3 dan keberadaannya tidak dapat musnah atau terurai, sehingga dapat menyebabkan pencemaran atau keracunan pada lingkungan dan organisme yang terpapar.

2. Sifat-sifat Logam Berat

Menurut Sutamihardja (2006 dalam Adhani & Husaini, 2017 hlm. 16) menjelaskan mengenai sifat logam berat yang dapat membahayakan lingkungan dan manusia antara lain sebagai berikut:

- a. Logam berat sulit didegradasi, cenderung akan terakumulasi dalam lingkungan.
- b. Logam berat dapat menyebabkan bioakumulasi dan biomagnifikasi.
- c. Logam berat mudah terakumulasi dalam sedimen, sehingga kandungannya selalu lebih tinggi daripada kandungan logam dalam air.

3. Macam-macam Logam Berat

Logam berat diklasifikasikan menjadi dua kelompok yaitu logam berat esensial dan non esensial antara lain sebagai berikut:

- a. Logam berat esensial merupakan logam berat yang harus tetap ada di dalam organisme hidup, namun jika jumlah melebihi baku mutu dalam tubuh keberadaannya dapat menimbulkan keracunan atau bersifat *toxic* bagi

tubuh. Contoh sejumlah unsur seperti Zn, Cu, Fe, Co, Mn, dan lain-lain yang dibutuhkan oleh semua organisme karena perannya sangat penting di dalam tubuh terutama sistem metabolisme (Al-Homaidan, 2006 dalam Kurniawan & Mustikasari, 2019, hlm. 410).

- b. Logam berat non esensial merupakan logam berat yang keberadaannya dapat menimbulkan keracunan atau bersifat *toxic* bagi tubuh dan belum diketahui manfaatnya bagi tubuh. Contoh sejumlah unsur seperti Hg, Cd, Pb, As, Cr, dan lain-lain zat-zat yang belum diketahui manfaatnya (Adhani & Husaini, 2017, hlm. 14)

4. Logam Berat Besi (Fe)

Logam berat besi (Fe) merupakan salah satu dari sekian banyak logam berat yang terdapat dalam kehidupan manusia di muka bumi menjadi logam mikroelemen esensial yang dibutuhkan dalam tubuh untuk mengatur metabolisme tubuh terutama pada sel darah merah.

1) Definisi Logam Berat Besi (Fe)

Logam berat besi (Fe) merupakan logam paling banyak melimpah di kerak bumi menempati posisi keempat terbesar (Kiswanto *et al.*, 2020, hlm. 21). Logam berat besi (Fe) berasal dari limbah industri maupun limbah rumah tangga dapat mencemari lingkungan sungai dengan jumlah yang banyak, sehingga menimbulkan keracunan pada tubuh manusia yang mudah terserap dalam saluran pencernaan bersifat korosif dan cepat meningkatkan penyerapan racun.

Dari penjelasan tersebut maka dapat ditarik suatu kesimpulan, dalam kehidupan sehari-hari mungkin kita sering bersentuhan dengan logam berat besi (Fe) baik dalam bidang kesehatan, pertanian, industri, dan lain-lain. Kandungan logam berat besi (Fe) bagi produktivitas pertumbuhan melebihi batas optimal dapat merusak dinding usus dan menimbulkan gangguan kesehatan yang berujung pada kematian akibat cemaran besi.

2) Karakteristik Logam Berat Besi (Fe)



Gambar 2. 1 Logam Berat Besi (Fe)
(Sumber: <https://wira.co.id/logam-berat/>)

Seperti yang kita ketahui besi (Fe) merupakan logam berat esensial yang memiliki karakteristiknya liat bentuknya cenderung keras dan kuat. Besi (Fe) terletak pada periode 4 golongan VIII B dalam tabel periodik. Besi (Fe) melebur pada suhu 15350°C (*Celcius*), titik didihnya 30000°C (*Celcius*), dan mempunyai massa jenis $7,87\text{ gr/cm}^3$. Wujud besi murni berwarna putih perak yang kukuh dan liat, namun sulit ditemukan besi (Fe) dalam bentuk murni, kebanyakan besi (Fe) mengandung sejumlah kecil karbida, silisida, fosfida, dan sulfida serta sedikit grafit zat-zat pencemar. Zat-zat tersebut memegang peranan penting dalam kekuatan struktur besi (Ahmad, 2004 dalam Adhani & Husaini, 2017, hlm. 130-131). Logam berat besi (Fe) menjadi salah satu unsur hara dalam tanaman yang termasuk ke dalam golongan mikro, besi (Fe) diserap oleh tanaman dalam bentuk ion Fe^{2+} . Selain itu, unsur hara besi salah satu elemen yang diperlukan untuk pembentukan enzim pernafasan yang mengoksidasi karbohidrat menjadi karbon dioksida. Unsur besi juga sangat penting untuk produksi klorofil pada tanaman.

Menurut Putri *et al.*, (2017, hlm. 3) menyatakan bahwa besi (Fe) diciptakan dalam tubuh manusia yang dicurahkan dalam Al-Qur'an Surah al Hadid ayat 25. Allah SWT berfirman:

لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِالْبَيِّنَاتِ وَأَنْزَلْنَا مَعَهُمُ الْكُتُبَ وَالْمِيزَانَ لِيَقُومَ النَّاسُ بِالْقِسْطِ وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعٌ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَن يَنْصُرُهُ وَرُسُلَهُ بِالْغَيْبِ إِنَّ اللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ ۝

Artinya: Allah SWT telah memberikan kepada manusia bahwa zat besi merupakan anugerah yang nilai dan manfaatnya tidak terbatas karena zat besi dapat digunakan untuk memenuhi berbagai kebutuhan manusia dalam kehidupan sehari-hari. Sebagaimana dapat dipahami sebagai nasihat bagi mereka yang bersungguh-

sungguh atas kasih karunia Allah SWT sesuai dengan tujuan pencipta-Nya. Oleh karena itu, Allah SWT menciptakan besi (Fe) yang berguna bagi manusia.

3) Manfaat Logam Berat Besi (Fe)

Seperti yang sudah dijelaskan, logam berat besi (Fe) merupakan zat yang dibutuhkan manusia, logam berat besi (Fe) banyak terdapat pada makanan dan minuman sebagai zat yang mendukung pertumbuhan dan perkembangan manusia. Daging merah dan sayuran kangkung adalah salah satu makanan yang terdapat zat besi dan sering dikonsumsi manusia. Putri *et al.*, (2017, hlm. 27) mengungkapkan bahwa manfaat logam berat besi (Fe) adalah sebagai penunjang pertumbuhan dan perkembangan tubuh manusia, terutama pada sayuran sebagai penyusun enzim yang aktif dalam fotosintesis dan respirasi.

Dari penjelasan tersebut maka dapat ditarik suatu kesimpulan, logam berat besi (Fe) menjadi salah satu dari banyaknya logam berat yang terdapat dalam kehidupan manusia yang kita ketahui yaitu logam berat besi (Fe) tidak terlepas dari kebutuhan manusia terutama berkaitan dengan kebutuhan nutrisi. Zat besi merupakan komponen yang berperan mengikat *hemoglobin* dalam sel darah merah mengangkut oksigen dan menyebarkannya ke seluruh tubuh.

4) Bahaya Logam Berat Besi (Fe) bagi Kesehatan

Kehadiran zat besi dalam tanaman tidak boleh dianggap remeh, karena media tanam mengandung besi yang menyebabkan tanaman hidup (Pertiwi, 2020, hlm. 33). Kelebihan zat besi akan mengakibatkan terganggunya hormon *hepcidin* (hormon yang mengatur metabolisme tubuh) berguna untuk membuat tubuh menyerap lebih banyak zat besi yang dibutuhkan. Saat mengalami kelebihan zat besi disimpan di beberapa organ dalam tubuh terutama disimpan di dalam hati. Gejalanya adalah menyebabkan rasa mual, muntah, diare, peningkatan denyut jantung, sakit kepala, dan pingsan. Kekurangan zat besi dapat menghambat pembentukan klorofil mengakibatkan berkurangnya kandungan pigmen dan protein serta mengakibatkan berkurangnya kemampuan untuk mengatur suhu tubuh. Gejalanya adalah menyebabkan pucat, rasa lemah, letih, pusing, kehilangan nafsu makan, menurunnya kebugaran fisik, kemampuan kerja, kekebalan tubuh dan gangguan penyembuhan luka. Selain itu, Jenti & Nurhayati (2014 dalam Nurhayati *et al.*, 2020, hlm. 75) menjelaskan bahwa tingginya kandungan logam

berat besi (Fe) dalam tubuh manusia akan menyebabkan penyakit seperti keracunan, kanker, liver, dan hemokromatosis terutama anemia karena asupan zat besi yang tidak cukup akan mengakibatkan gangguan penyerapan dan kehilangan darah. Oleh karena itu, perlu menjaga keseimbangan zat besi dalam tubuh harus dipertahankan agar tubuh tidak menderita anemia (Armfield *et al.*, 2013, hlm. 165).

Dari penjelasan tersebut maka dapat ditarik suatu kesimpulan, keberadaan logam berat besi (Fe) pada tubuh bermanfaat bagi tubuh juga memberikan dampak negatif bagi tubuh dan berbahaya. Mengonsumsi zat seperti air yang mengandung zat besi menyebabkan rasa mual bagi yang mengkonsumsinya. Naschan *et al.*, (2017, hlm. 12) menjelaskan bahwa zat besi yang masuk ke dalam tubuh melebihi ambang batas atau baku mutu yang telah ditetapkan, maka dapat menimbulkan gangguan kesehatan bagi tubuh manusia, terutama kerusakan pada dinding usus, berdampak buruk pada sistem saraf, dan mempengaruhi kerja pada ginjal.

D. Pencemaran Logam Berat Besi (Fe)

Pencemaran logam berat sangat berbahaya bagi kehidupan manusia terutama bagi perairan. Mairizki & Cahyaningsih (2006 dalam Putra & Mairizki, 2020, hlm. 50) mengungkapkan bahwa logam berat dapat juga menjadi penyebab terjadinya alergi, karsinogenik bagi manusia, dan dalam dosis yang tinggi dapat menyebabkan kematian. Bentuk pencemaran yang paling sering ditemukan disekitar yaitu pencemaran air yang terakumulasi di dalamnya berupa kontaminasi logam berat. Selain itu ditemukan pencemaran tanah dan pencemaran udara, sehingga dapat dilihat pada penjelasan dibawah ini antara lain sebagai berikut:

1. Pencemaran Logam Besi (Fe) pada Air Irigasi

Pencemaran air di kawasan industri yang disalurkan ke air irigasi yang tercemar dapat mengandung berbagai kontaminan. Kontaminasi logam berat dapat mengakibatkan hasil pertanian yang mengandung zat yang berbahaya untuk dikonsumsi. Terjadinya pencemaran air disebabkan oleh kegiatan industri berupa buangan limbah merupakan penyebab utama terjadinya pencemaran air. Berdasarkan Keputusan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air menyatakan bahwa “Pencemaran air adalah masuknya makhluk hidup, zat, energi,

dan atau komponen lain ke dalam air melalui kegiatan manusia, mengakibatkan kualitas air mencapai tingkat tertentu yang mengarah pada kenyataan bahwa air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya”. Pencemaran logam berat yang terkandung dalam perairan dapat berupa pencemaran logam berat yang terkandung dalam perairan seperti erosi batuan yang dibawa oleh partikel udara dan hujan, sehingga menimbulkan pencemaran air melalui kegiatan non lingkungan salah satunya seperti logam berat besi (Fe). Wibowo *et al.*, (2017, hlm. 131) menyatakan bahwa kandungan logam yang tinggi dalam limbah dapat mencemari air dapat berdampak buruk bagi lingkungan, kehidupan manusia, dan makhluk hidup lainnya.

Dari penjelasan tersebut maka dapat ditarik suatu kesimpulan, hubungan kandungan logam berat besi (Fe) dalam pencemaran logam berat besi (Fe) pada air menjadi sumber dasar makhluk hidup atau organisme karena logam berat besi (Fe) terutama pada manusia yang digunakan untuk mengikat *hemoglobin*. Namun, pada dosis yang tinggi atau diatas baku mutu dapat menjadi racun. Adapun kandungan logam berat besi (Fe) dalam baku mutu pada air berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup antara lain sebagai berikut:

Tabel 2. 1
Baku Mutu Kandungan Logam Berat Besi (Fe) pada Air Irigasi

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan
Besi (Fe)	mg/L	0,3

(Sumber: Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021)

2. Pencemaran Logam Berat Besi (Fe) pada Tanah

Pencemaran tanah merupakan masuknya bahan pencemar oleh manusia maupun secara alami ke dalam tanah berbentuk zat, energi, atau unsur lingkungan lainnya, sehingga menurunkan kualitas tanah dan tidak layak untuk peruntukannya. Jenis pencemaran tanah dapat berupa bahan kimia, mikroorganisme, zat radioaktif, dan lain-lain. Semua jenis bahan pencemar yang ada dalam air mencemari tanah

yang bersentuhan langsung dengan air yang terkontaminasi berupa air limbah. Air limbah dapat menambah sejumlah unsur hara dan bahan organik kedalam tanah (Horswell *et al.*, 2003 dalam Meng *et al.*, 2016, hlm. 153). Pencemaran tanah dapat disebabkan oleh limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun) karena senyawa ini dapat mengendap di dalam tanah. Lebih lanjut Darmono (2001 dalam Dicky & Arief Muh 2021, hlm. 77) menjelaskan penjelasan dibawah ini antara lain sebagai berikut:

Sumber pencemaran logam di tanah pertanian berasal dari berbagai aktivitas seperti 1) Jumlah logam yang ada di batuan tempat tanah terbentuk, 2) Jumlah pupuk yang digunakan, 3) Pertambangan, industri, dan transportasi yang ditemukan dalam air, tanah dan udara, 4) Jumlah yang terserap pada proses saat panen terserap ke dalam tanah lebih dalam.

Dari penjelasan tersebut maka dapat ditarik suatu kesimpulan, jika kelebihan kandungan besi (Fe) dalam lingkungan dapat mengakibatkan air tanah terkontaminasi dan mengganggu kelangsungan makhluk hidup lainnya. Logam besi (Fe) di dalam tanah akan terserap oleh tanaman melalui akar, batang, dan daun. Apriyanti & Candra (2018 dalam Nurhayati *et al.*, 2020, hlm. 75) menjelaskan bahwa kandungan logam berat besi (Fe) yang tinggi di dalam tanah akan menyebabkan tanaman mengakumulasi besi (Fe) di dalam tubuh, sehingga menyebabkan keracunan. Adapun kandungan logam berat besi (Fe) dalam baku mutu pada tanah berdasarkan US EPA - U.S *Environmental Protection Agency* (1997 dalam Khan *et al.*, 2019, hlm. 5) yang berkaitan dengan kandungan logam berat besi (Fe) pada tanah antara lain sebagai berikut:

Tabel 2. 2
Baku Mutu Kandungan Logam Berat Besi (Fe) pada Tanah

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan
Besi (Fe)	mg/kg	21.000

(Sumber: US EPA - U.S *Environmental Protection Agency* tahun 1997 dalam Khan *et al.*, 2019, hlm. 5)

3. Pencemaran Logam Berat Besi (Fe) pada Sayuran

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pasal 1 ayat (14) menyatakan bahwa “Pencemaran adalah suatu keadaan di mana zat bahan pencemar yang dibawa oleh aktivitas manusia melebihi baku mutu yang ditetapkan untuk kualitas air pada lingkungan yang bersih”. Pencemaran logam berat terutama pada sayuran dapat terjadi melalui saluran irigasi yang mengalir di lahan pertanian. Air irigasi yang tercemar logam berat digunakan untuk penyiraman tanaman pertanian yang menyebabkan sayuran mengandung logam berat. Selain itu, Katipana (2015 dalam Fajriah *et al.*, 2017 hlm. 156) menambahkan bahwa “Pencemaran logam berat dapat menyerang tubuh manusia melalui sayuran seperti kangkung”.

Dari penjelasan tersebut maka dapat ditarik suatu kesimpulan, banyaknya contoh kasus keracunan logam yang semakin meningkat jumlahnya. Contohnya jika mengkonsumsi sayuran yang ditanam di lahan pertanian mengandung logam berat, sehingga masuk ke dalam tubuh, maka akan menjadi racun dan terserap oleh tulang karena pengendapan di dalam tulang yang menyebabkan *osteoporosis*. Adapun kandungan logam berat besi (Fe) dalam baku mutu pada sayuran berdasarkan *World Health Organization/Food and Agriculture Organization* WHO/FAO dalam Latif *et al.*, (2018, hlm. 5) yang berkaitan dengan kandungan logam berat besi (Fe) pada sayuran antara lain sebagai berikut:

Tabel 2. 3
Baku Mutu Kandungan Logam Berat Besi (Fe) pada Sayuran

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan
Besi (Fe)	mg/kg	425

(Sumber: *World Health Organization/Food and Agriculture Organization* WHO/FAO dalam Latif *et al.*, 2018)

E. Mekanisme Penyerapan dan Translokasi Logam Berat

Mekanisme penyerapan dan translokasi logam berat besi (Fe) sangat diperlukan tanaman untuk membentuk klorofil. Besi (Fe) yang sudah ada di dalam tubuh manusia dan tanaman tidak lagi mudah didistribusikan ke bagian lain yang

membutuhkan. Dengan kata lain, logam berat besi (Fe) merupakan unsur yang diperlukan tanaman dan tubuh manusia.

1. Mekanisme Penyerapan Logam Berat Besi (Fe) pada Tanaman

Menurut Juhri (2017, hlm. 221) logam berat terdapat pada perairan yang menjadi habitat bagi sayuran akan menyebabkan logam berat terserap kedalam organ tanaman. Tanaman membutuhkan zat besi untuk berperan penting dalam respirasi dan fotosintesis. Lebih lanjut Mahendra *et al.*, (2018, hlm. 43) menyatakan bahwa logam berat yang terdapat pada tanaman merupakan zat pencemar yang dapat merusak tanaman tersebut, sehingga logam berat diserap oleh jaringan tanaman melalui akar, batang, dan daun dari tanaman tersebut. Logam tersebut kemudian dapat didistribusikan ke organisme lain melalui siklus rantai makanan (Alloway, 1990 dalam Widowati *et al.*, 2015, hlm. 2). Mekanisme penyerapan logam berat pada daerah perakaran yang masuk ke tanaman dapat terakumulasi di dalam akar, atau juga dapat ditranslokasikan ke bagian lain seperti batang dan daun, diserap menuju bagian korteks akar melalui xilem namun terlebih dahulu harus melewati membran plasma lalu masuk melewati jalur simplas, setelah itu akan masuk melalui jalur apoplas (Marschner, 1995 dalam Nugraha & Rumanti, 2017, hlm. 11). Sedangkan mekanisme penyerapan logam berat oleh daun dapat terjadi melalui paparan udara yang tercemar, kemudian mengendap pada permukaan daun. Mekanisme ion logam melewati membrane plasma dimediasi oleh protein transpor aktif. Akan tetapi, kemampuan tanaman dalam mentranslokasikan logam berat berbeda-beda, tergantung dengan jenis logam berat dan tanamannya.

Dari penjelasan tersebut maka dapat ditarik suatu kesimpulan, mekanisme penyerapan dan translokasi logam berat terjadi melalui dua cara yaitu melalui serapan akar dan serapan daun. Serapan akar terjadi melalui bagian korteks, kemudian ditranslokasikan ke bagian lain yaitu batang dan daun. Sedangkan serapan daun dapat terjadi melalui stomata, celah-celah kutikula maupun melewati pori-pori air. Oleh karena itu, terjadinya penyerapan logam berat besi (Fe) oleh tanaman menunjukkan adanya kandungan logam berat pada air irigasi yang dapat menyebabkan akumulasi logam berat pada sayuran. Jika logam berat besi (Fe) terakumulasi pada tanaman dalam jumlah yang besar dapat berbahaya dan menyebabkan gangguan kesehatan bagi tubuh manusia.

2. Mekanisme Penyerapan Logam Berat Besi (Fe) pada Tubuh

Masuknya akumulasi logam berat besi (Fe) ke dalam tubuh manusia mula-mula mengalami proses pencernaan di usus, larut dalam asam lambung kemudian berikatan dengan *apoferritin* yang diubah menjadi *ferritin* membebaskan zat besi ke dalam plasma yang teroksidasi dalam darah yang mengikat plasma darah dan “*transferin*” berperan untuk mengangkut zat besi ke dalam sumsum tulang belakang untuk membentuk *hemoglobin*. Iskandar (2018, hlm. 252) menjelaskan bahwa dengan meningkatkan produksi *hemoglobin*, aliran oksigen ke seluruh tubuh terutama ke otak juga meningkat, sehingga membuat tubuh menjadi lebih segar dan sehat. *Transferin* mengangkut besi (Fe) ke dalam tempat penyimpanan besi (Fe) di dalam tubuh terutama di bagian hati, tulang, dan limpa.

F. Air Irigasi

Air merupakan suatu komponen penting dalam kehidupan karena dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan yaitu kebutuhan pribadi, pangan, pertanian, makhluk hidup lain seperti hewan dan tumbuhan, air dimanfaatkan oleh hewan untuk memenuhi kebutuhan akan minum, sedangkan pada tumbuhan air dibutuhkan dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Diliarosta (2018, hlm. 29) menyatakan bahwa air tidak dapat dipisahkan dari bidang pertanian karena tanpa air, pertanian tidak ada artinya, sehingga jika peningkatan pencemaran air yang terus meningkat akan menjadi penyebab utama penurunan kualitas air. Jadi dengan kata lain air menjadi aset yang sangat berharga sekali untuk keberlangsungan makhluk hidup (Sari, 2019, hlm. 47).



Gambar 2. 2 Saluran Air Irigasi Jalan Peuris Kecamatan Margaasih
(Sumber: <https://earth.google.com/web>)

Irigasi merupakan penyaluran air yang digunakan sebagai pertumbuhan tanaman guna mengairi persawahan. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2006 tentang Irigasi menyatakan bahwa “Irigasi adalah usaha penyediaan, pengaturan, dan pengalihan air irigasi untuk menunjang pertanian, meliputi irigasi permukaan, irigasi lahan basah, irigasi air tanah, irigasi pompa, dan irigasi tambak”. Lebih lanjut A. K. Sari (2019, hlm. 48) menyatakan bahwa irigasi merupakan saluran-saluran air untuk memenuhi kebutuhan air pada persawahan yang bersifat stabil, sehingga memudahkan dalam pengairan sawah.

Sistem irigasi yang baik dapat mengoptimalkan air yang ada pada tanah dan memberikan hasil yang maksimal. Sudjarwadi (1987 dalam Dwiwana *et al.*, 2019, hlm. 216) menjelaskan bahwa sistem irigasi untuk proses penyediaan, pemberian, pengelolaan, dan pengaturan air. Terdapat 4 kategori irigasi berdasarkan proses penyediaan, pemberian, pengelolaan, dan pengaturan air antara lain sebagai berikut:

1. Irigasi permukaan, prinsip dari sistem irigasi ini adalah dengan penggenangan air.
2. Irigasi bawah permukaan, dengan pemberian air pada tanaman menggunakan prinsip resapan.
3. Irigasi dengan pemancaran, sistem irigasi ini mula-mula air akan dipancarkan ke udara, setelah itu akan jatuh ke permukaan tanah.
4. 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.

Dari penjelasan tersebut maka dapat ditarik suatu kesimpulan, air irigasi adalah sistem pengairan untuk mengalirkan air dari suatu sumber sebagai suatu usaha untuk mendatangkan, menyediakan, dan mengatur pembuangan serta keperluan air untuk lahan pertanian agar tercukupinya pasokan air bagi tanaman yang dibudidayakan. Air yang dibutuhkan oleh lahan pertanian utamanya menggunakan air irigasi untuk penyiraman tanamannya. Tujuan dibuatnya irigasi selain untuk mencukupi kebutuhan pasokan air pada lahan pertanian yang berfungsi untuk pengontrol suhu tanah, membantu dalam proses pemupukan, dan membasahi tanah serta mencegah rusaknya tanaman oleh hama yang berasal dari dalam tanah.

Parameter dari kualitas air secara umum ditunjukkan oleh mutu atau kondisi air yang dapat diukur berdasarkan standar kualitas air yaitu baku mutu yang harus dimiliki oleh air didasarkan pada parameter fisika, kimia, biologi, dan radioaktif

yang terkandung dalam air. Parameter klasifikasi kualitas air telah ditetapkan berdasarkan keputusan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup diklasifikasikan menjadi 4 kategori berdasarkan dengan peruntukannya antara lain sebagai berikut:

Tabel 2. 4
Klasifikasi Air Berdasarkan Peruntukannya

No	Kelas	Peruntukan
1.	I (Satu)	Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku, air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
2.	II (Dua)	Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
3.	III (Tiga)	Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
4.	IV (Empat)	Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Air yang sudah terkontaminasi limbah akan berbeda dengan air yang masih bersih, perbedaan tersebut dapat dilihat dari parameter air baik secara fisik, kimia, biologi, dan radioaktif.

Tanah

Tanah merupakan salah satu komponen dasar abiotik dalam ekosistem yang mudah untuk terkontaminasi bahan pencemar. Tanah juga merupakan media tanam yang didalamnya terdapat unsur yang dibutuhkan tanaman supaya tumbuh dengan baik (Erikson *et al.*, 2021, hlm. 146). Tanah dapat menyerap berbagai zat, sehingga terjadi akumulasi tanah dengan berbagai zat bahkan menyebabkan kualitas tanah terganggu dan dapat mengakibatkan pencemaran. Penyebab pencemaran logam berat di dalam tanah adalah tanah mengandung berbagai zat pelisis baik berupa kation maupun anion. Sutedjo (2002 dalam Fajeriana & Ranti 2020, hlm. 123-124) antara lain sebagai berikut:

Tanah yang subur adalah tanah dengan profil yang sangat dalam kedalaman > 150 cm; struktur tanahnya gembur; pH 6,0 – 6,5; kandungan unsur hara

yang tersedia bagi tanaman sudah cukup; dan tidak terdapat faktor pembatas yang membatasi pertumbuhan tanaman di dalam tanah.

Dari penjelasan tersebut maka dapat ditarik suatu kesimpulan, kesuburan tanah diukur dari jumlah kandungan unsur hara makro seperti N, P, K yang tinggi, ketersediaan bahan organik yang tinggi, kandungan Fe, Mn, dan Al yang rendah dan komposisi mikroba tanah yang menguntungkan (Garuda, 2020, hlm. 61). Secara umum lapisan tanah terdiri dari lapisan tanah atas, tengah, bawah, dan lapisan batuan dasar. Lapisan tanah atas merupakan reseptor (penerima) bahan pencemar terutama logam berat yang terakumulasi dalam jangka waktu yang lama dan terus meningkat dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, tanah lapisan atas dapat digunakan sebagai indikator untuk mengetahui kandungan logam berat (Maharani & Budiman, 2018, hlm. 144). Logam berat masuk ke dalam tanah melalui penggunaan bahan kimia yang dihasilkan didalam tanah, akumulasi debu, hujan, erosi tanah, dan pembuangan limbah.

G. Sayuran Kangkung

Sayuran merupakan salah satu makanan yang paling sering dikonsumsi oleh masyarakat karena banyak ditemui di Indonesia dan mengandung vitamin, mineral, dan nutrisi yang penting bagi tubuh. Nutrisi yang baik dapat diperoleh dengan mengkonsumsi sayuran dengan kualitas air yang baik. Sayuran yang berkualitas baik dipengaruhi oleh jenis tanah dan penyiraman dapat meningkatkan kesehatan (Rinawati & Sofiatun, 2018, hlm. 170).

Dari beberapa definisi diatas maka dapat ditarik suatu kesimpulan, mengkonsumsi sayuran merupakan salah satu hal yang harus dilakukan jika kita ingin hidup sehat, kondisi tubuh yang sehat jasmani dan rohani menjadi lebih awet muda, sehingga bila mengkonsumsi sayuran secara teratur dalam porsi yang seimbang akan menjaga kesehatan tubuh.



Gambar 2. 3 Sayuran Kangkung
(Sumber: theseedcollection.com)

1. Klasifikasi Sayuran Kangkung Darat

Menurut Anggara (2009 dalam Nainggolan, 2019, hlm. 4) sayuran kangkung darat (*Ipomoea aquatica*) diklasifikasikan antara lain sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae (Tumbuhan)
Division	: Tracheophyta (Tumbuhan berpembuluh)
Class	: Magnoliopsida (Berkeping Dua/Dikotil)
Ordo	: Solanales
Familia	: Convolvulaceae
Genus	: <i>Ipomoea</i>
Spesies	: <i>Ipomoea aquatica</i> Poir.

Sayuran kangkung darat (*Ipomoea aquatica*) merupakan salah satu sayuran yang dibutuhkan masyarakat (Kuwati & Prihastanti, 2019, hlm. 117). Bagian terpenting dari sayuran kangkung adalah batang muda dan pucuk-pucuknya sebagai bahan sayur-mayur. Sayuran kangkung terdiri atas dua macam yaitu kangkung darat dan kangkung air dimana keduanya banyak dikonsumsi masyarakat (Suryaningsih *et al.*, 2018, hlm. 130). Sayuran kangkung darat (*Ipomoea aquatica*) banyak dikonsumsi oleh masyarakat karena harganya yang relatif murah, banyak mengandung zat-zat gizi contohnya vitamin A, antioksidan mineral, dan serat yang berguna bagi kesehatan tubuh manusia untuk memperlancar pencernaan terutama zat besi yang berguna untuk pertumbuhan dan kesehatan tubuh (Haryoto, 2009 dalam Edi, 2014, hlm. 17).

2. Karakteristik Sayuran Kangkung Darat

Dilihat dari morfologinya sayuran kangkung darat (*Ipomoea aquatica*) termasuk ke dalam tanaman dikotil dengan akar tunggang, batangnya berongga berbentuk bulat dan beruas, daunnya panjang dan berwarna hijau, tangkai daunnya panjang, dan melekat pada batang (Haryoto, 2009, hlm. 10 dalam Iskandar, 2018,

hlm. 246). Kangkung termasuk kedalam tanaman merambat baik di permukaan tanah, lumpur maupun mengapung di permukaan air karena memiliki batang berongga, sehingga mampu menyimpan udara didalamnya. Anggis & Hamidah (2019, hlm. 98) menjelaskan mengenai karakteristik sayuran kangkung antara lain sebagai berikut:

- a. Kangkung merupakan tanaman yang mempunyai daya adaptasi yang cukup luas terhadap suatu kondisi iklim dan tanah di daerah tropis, sehingga dapat ditanam di berbagai daerah di Indonesia.
- b. Kangkung juga merupakan tanaman yang tidak selektif terhadap unsur hara tertentu, sehingga dapat menyerap semua unsur yang terkandung di dalam tanah.
- c. Kangkung dapat tumbuh dengan baik pada badan air yang tidak terlalu dalam atau bantaran sungai, danau, dan selokan.
- d. Kangkung bersifat fitoremediasi, sehingga bisa menyerap zat berbahaya.

Menurut Anggis & Hamidah (2019, hlm. 98) melanjutkan bahwa bentuk fitoremediasi sayuran kangkung dapat berupa akumulasi pada akar, menurunnya pertumbuhan batang, dan daun kangkung. Selain itu, kangkung dengan akar yang banyak, batang, dan daun hijau adalah ciri sayuran 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 Darat

Menurut Abidin *et al.*, (1990 dalam Wibowo & Sitawati, 2017) menjelaskan mengenai kandungan nutrisi sayuran kangkung antara lain sebagai berikut:

Kandungan vitamin dan mineral yang masih ada dalam kangkung terdiri dari air 89,7 gr; protein 3,0 gr; lemak 0,3 gr; karbohidrat 5,4 gr; kalori 29 mg; kalsium 73 mg; kalium 50 mg; zat besi 2,5 mg, vitamin C 32 mg; vitamin A 6300 sl dan vitamin B 0,07 mg.

Dari definisi kandungan nutrisi diatas maka dapat ditarik suatu kesimpulan, produksi pertanian mengandung logam berat dalam pertumbuhannya karena pertumbuhan tanaman dapat menyerap unsur hara tanaman termasuk logam berat dari dalam tanah. Kandungan logam berat pada tanaman di dalam tanah merupakan indikator yang baik dari ketersediaan logam bagi tanaman. Jika pH tanah menurun kandungan logam berat di dalam tanah meningkat, sehingga dapat menyebabkan lebih banyak penyerapan logam oleh tanaman.

4. Manfaat Sayuran Kangkung Darat

Beberapa manfaat yang bisa diambil dari sayuran kangkung terutama pada daunnya diantaranya mengatasi mimisan, ambeien, cacar air, melancarkan air seni, mengobati keracunan makanan dan mengurangi haid yang terlalu banyak. Nurdin *et al.*, (2018, hlm. 130) menjelaskan bahwa kangkung juga dapat digunakan sebagai obat tradisional yang efektif tanpa efek samping, berkhasiat menyembuhkan kapalan, bengkak, mimisan, pendarahan, wasir, sakit gigit, sembelit, dan lain-lain.

H. Parameter Faktor Klimatik Fisika dan Kimia Lingkungan

Dalam menentukan kualitas faktor klimatik lingkungan pada aspek-aspek lain juga penting untuk menjadi dasar dan pertimbangan penunjang yang menjadi parameter faktor klimatik lingkungan fisika dan kimia. Faktor klimatik dapat dibagi menjadi dua parameter yaitu faktor fisika dan kimia antara lain sebagai berikut:

1. Faktor Fisika

a. Suhu Udara

Suhu udara merupakan salah satu unsur iklim yang mempengaruhi aktivitas kehidupan tanaman seperti proses fotosintesis, respirasi, transpirasi, pertumbuhan, penyerbukan, pembuahan, dan keguguran buah. Dewanto *et al.*, 2020, hlm. 4301) menjelaskan pengertian suhu udara bahwa suhu dikatakan sebagai derajat panas atau dingin yang diukur berdasarkan skala tertentu dengan menggunakan alat yang dinamakan *thermometer*. 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. Perubahan suhu dapat terjadi karena adanya pencemaran yang terjadi dari berbagai faktor seperti alamiah maupun disebabkan oleh aktivitas manusia dan buangan limbah dapat meningkatkan suhu yang tinggi, sehingga dapat mempengaruhi suhu dalam lahan pertanian. Salisbury dan Ross (1995 dalam Mohamad E, 2011 dalam Tiro *et al.*, 2017, hlm. 84) menyatakan bahwa suhu lingkungan yang lebih tinggi menyebabkan peningkatan proses fotosintesis dan penyerapan air oleh tanaman. Di sisi lain jika suhu rendah penyerapannya juga lambat karena pada suhu rendah

kebutuhan toleransi air otomatis berkurang, logam berat diserap tanaman bersama air dan unsur hara. Kangkung darat (*Ipomoea aquatica*) tumbuh pada suhu 20° C – 30° C merupakan iklim yang baik, panas dan lembab (Alexander, 2004 dalam Sutan *et al.*, 2018, hlm. 75). Dengan demikian kondisi suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan unsur hara menguap, sehingga pertumbuhan tanaman tidak dapat optimal. Tiro *et al.*, (2017, hlm. 84) mengatakan bahwa “Suhu yang tinggi ion-ion logam tidak terserap oleh tanaman, namun akan terjadi penguapan pada daun”.

b. Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya adalah jumlah energi yang diserap oleh suatu tanaman per satuan luas dan per satuan waktu (N. Mukhayat, P. W. Ciptadi & R. H. Hardyanto, 2021, hlm. 179). Intensitas cahaya yang diterima oleh tanaman tidak selalu sama di semua tempat. Tanaman membutuhkan cahaya matahari untuk melakukan fotosintesis yang disebabkan oleh penyerapan daun. Intensitas cahaya memiliki efek yang besar pada efisiensi fotosintesis suatu tanaman. Efisiensi penyerapan cahaya oleh daun dapat menyebabkan berbagai perbedaan antara perubahan morfologi dan fisiologi. Cahaya matahari diperlukan tanaman untuk fotosintesis pada reaksi terang dan gelap (Yustiningsih 2019, hlm. 45). Menurut Dinas Pertanian dan Pangan Kabupaten Bandung, tanaman kangkung tidak memerlukan cahaya dengan suhu yang terlalu tinggi karena intensitas cahaya yang optimal untuk kangkung berada pada kisaran 4305,56 - 8611,13, maka bisa dikatakan sayuran kangkung tidak membutuhkan banyak cahaya panas (Fadhilillah *et al.*, 2019, hlm. 170). Dengan demikian intensitas cahaya merupakan faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman, tidak semua jenis tanaman membutuhkan intensitas cahaya yang sama untuk memenuhi kebutuhan dalam melakukan proses fotosintesis pada pertumbuhan tanaman. Selain itu, tinggi rendahnya intensitas cahaya pada lingkungan pertanian dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Mengukur intensitas cahaya menggunakan alat yang dinamakan *lux meter digital*.

2. Faktor Kimia

a. Derajat Keasaman (pH Tanah)

pH tanah atau yang sering disebut dengan kadar asam pada tanah merupakan bagian yang mempengaruhi tingkat kesuburan tanah. pH tanah menentukan kandungan hara tanah bagi tumbuhan terutama unsur hara mikro. pH tanah bisa diukur dengan cara menggunakan alat yang dinamakan *soil tester*, karena wilayah Indonesia umumnya memiliki jenis tanah yang asam. Nilai pH tanah (keasaman tanah) di negara kita berkisar antara 3,0 – 9,0, pH tanah antara 4,0 sampai 5,5 termasuk dalam kategori tanah masam, pH 6,0 sampai 6,5 masih tergolong tanah normal (N. Mukhayat, P. W. Ciptadi & R. H. Hardyanto, 2021, hlm. 179). Sutan *et al.*, (2018, hlm. 73) menjelaskan bahwa kawasan yang kaya akan bahan organik dengan pH tanah 5,5 - 6,5 dan suhu 200° C - 300° C merupakan cara agar kangkung darat dan kangkung air untuk tumbuh optimal. Selain itu, iklim yang panas dan lembab merupakan beberapa faktor yang menyebabkan kangkung darat serta kangkung air untuk tumbuh optimal.

Logam berat erat kaitannya dengan kandungan bahan organik tanah dan pH tanah. Kehadiran bahan organik membuat nutrisi tersedia bagi tanaman. Khasanah *et al.*, (2021, hlm. 76) menyatakan bahwa nilai pH rendah dapat meningkatkan kandungan logam berat, sehingga mudah diserap oleh tanaman. Dengan demikian konsentrasi pH tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan pada tanaman. Lebih lanjut Karoba *et al.*, (2015, hlm. 532) memaparkan bahwa penyerapan unsur hara pada tanaman akan terganggu apabila kondisi pH tanah tidak sesuai yang mana penyerapan unsur hara oleh tanaman akan terhambat ketika pH media tanam itu asam, dan sebaliknya ketika pH media tanam berada dalam kondisi normal, maka penyerapan unsur hara oleh tanaman tidak akan terganggu.

Dari beberapa penjelasan tersebut maka dapat ditarik suatu kesimpulan, faktor klimatik fisika dan kimia lingkungan bagi tanaman sangat berhubungan erat dengan pertumbuhan sayuran kangkung, sehingga kandungan logam besi (Fe) pada lahan pertanian dapat berkorelasi dengan kondisi faktor klimatik fisika dan kimia lingkungan. Kondisi suhu udara, intensitas cahaya, dan pH

tanah yang akan menunjang seberapa besar kandungan logam berat besi (Fe) pada air irigasi, tanah dan sayuran kangkung di kawasan industri Kecamatan Margaasih Kabupaten Bandung. Adapun baku mutu parameter faktor klimatik fisika dan kimia lingkungan dapat dilihat pada Tabel 2.5 antara lain sebagai berikut:

Tabel 2. 5
Baku Mutu Parameter Faktor Klimatik Fisika dan Kimia Lingkungan

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang Diperbolehkan
Suhu Udara ¹	°C	20° C – 30° C
Intensitas Cahaya ²	–	4305,56 – 8611,13
pH Tanah ³	–	5,5 – 6,5

Sumber: ¹Sutan *et al.*, (2018, hlm. 75)

² Fadhillah *et al.*, (2019, hlm. 170)

³ Sutan *et al.*, (2018, hlm. 73)

I. Lokasi Penelitian Lahan Pertanian Jalan Peuris Kecamatan Margaasih Kabupaten Bandung

Secara geografis Kecamatan Margaasih terletak pada 107⁰ 38' – 107⁰ 42' Bujur Timur dan 6⁰ 49' – 107⁰ 42' Lintang Selatan, sedangkan berdasarkan topografinya sebagian besar wilayah di Kecamatan Margaasih merupakan daerah lereng atau punggung bukit dan ada juga daerah dataran, karena daerah Kawasan desa membentang dari perbatasan Kawasan hutan sampai dengan jalan tol dengan ketinggian diatas permukaan laut kisarannya antara 600 m – 700 m (Koordinator Statistik Kecamatan Margaasih, 2019, hlm. 2). Kecamatan Margaasih juga dialiri oleh sungai-sungai kecil yang menguntungkan dari sektor pertanian. Kelurahan Margaasih merupakan satu dari 6 Kelurahan yang terletak di Kecamatan Margaasih Desa Margaasih Kabupaten Bandung. Menurut Website Resmi Desa Margaasih (2018, hlm. 1) dikatakan bahwa wilayah Kecamatan Margaasih memiliki luas sekitar 290,435 Ha. Kemudian kelurahan margaasih berbatasan dengan Kota Cimahi sebelah utara, di sebelah timur berbatasan dengan Desa Cigondewah Hilir, di sebelah selatan berbatasan dengan Desa Nanjung dan sebelah Barat berbatasan dengan Desa Lagadar. Luas Wilayah ini dibagi menjadi beberapa kategori diantaranya seperti luas lahan pertanian sawah, luas lahan pertanian bukan sawah,

dan luas lahan non pertanian. Menurut Website Resmi Desa Margaasih (2018, hlm. 1) dikatakan bahwa kecamatan Margaasih memiliki iklim tropis dengan rata-rata curah hujan pertahun yaitu 2.350 mm, memiliki suhu udara berkisar antara 20⁰ C – 26⁰ C, dan memiliki kelembaban udara yang beragam yaitu pada musim kemarau dan hujan berkisar antara 70%. Jarak dari desa ke pemerintah Kecamatan Margaasih sejauh 2,5 KM dengan waktu ±15 menit dan jarak ke Pusat Pemerintahan Kabupaten Bandung sejauh 12 KM dengan waktu ±30 menit.

Berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan dengan warga sekitar yaitu bapak Atep dan bapak Eman diketahui bahwa saluran irigasi yang dipakai oleh para petani bersumber dari daerah Bojong Koneng Kabupaten Bandung yang mengalir sampai lahan pertanian di daerah Margaasih. Sebelum sampai di lahan pertanian, aliran sungai melewati daerah Leuwi Gajah dan daerah Cibaligo yang berada di Kota Cimahi, dimana kedua daerah tersebut terkenal sebagai daerah industri, kemudian mengalir sampai pada Kecamatan Margaasih Kabupaten Bandung. Lahan pertanian di Jalan Peuris ini juga dikelilingi oleh beberapa industri besar seperti industri tekstil dibagi menjadi dua bagian yaitu industri tekstil yang terbuat dari bahan alami seperti industri pembuatan cat, cokelat, karpet, dll. Selain itu ada juga industri yang terbuat dari bahan buatan seperti bahan kimia. Lahan pertanian sayuran kangkung darat (*Ipomoea aquatica*) terletak di sepanjang Jalan Peuris yang mana banyak dimanfaatkan oleh para petani yang ditanami padi dan sayuran seperti sayuran kangkung darat, sawi hijau, bayam, dan selada sebagai lapangan pekerjaan bagi para petani di kawasan industri Kecamatan Margaasih. Kondisi lahan pertanian pada sayuran menghasilkan produk yang unggul dan berkualitas yaitu memiliki tanah yang subur dan gembur, serta menghasilkan sayuran dengan hasil yang melimpah ruah dan menyediakan produk unggulan berkualitas tinggi yang didistribusikan langsung ke pasar induk lokasinya tidak terlalu jauh dengan areal pertanian tersebut. Sumber air mengalir dari irigasi sampai ke lahan pertanian yang digunakan untuk keperluan pertanian dimana dimanfaatkan secara teratur untuk penyiraman lahan pertanian sayuran. Kondisi air irigasi yang mengalir sudah berwarna kehitaman, berbau tidak sedap, dan sudah tercemar atau terkontaminasi oleh berbagai jenis limbah buangan industri seperti limbah rumah tangga, limbah bangunan, limbah rongsokan kendaraan maupun dari bahan

pencemar yang mencemari air irigasi, sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan yang mengandung berbagai kontaminasi logam berat.

J. Instrumen Analisis Logam Berat Besi (Fe) dengan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*)

AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) merupakan alat yang menerapkan prinsip kerja dapat digunakan untuk mengukur kandungan logam berat yang terkandung dalam air. 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. Tujuan dari instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) adalah untuk tujuan analisis dan banyak digunakan secara luas di laboratorium, lingkungan, farmasi, perminyakan, dan lain-lain (Ferreira *et al.*, 2018, hlm. 1).

Menurut Pramesti (2021, hlm 10-11) menjelaskan tentang cara kerja AAS antara lain sebagai berikut:

Metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom menyerap cahaya dengan panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat-sifat unsurnya. Metode serapan atom hanya tergantung pada perbandingan dan tidak bergantung pada temperatur. AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) adalah suatu metode analisis yang didasarkan pada proses penyerapan energi radiasi oleh atom-atom yang berada pada tingkat energi dasar (*ground state*).

Penyerapan ini menyebabkan tereksitasinya elektron dalam kulit atom ke tingkat energi yang tinggi.

Instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) dapat dianggap lebih akurat dalam hal penyerapan energi cahaya oleh spesies kimia, meningkatkan karakterisasi dan pengukuran kuantitatif. Maka penelitian ini menggunakan instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) untuk mendeteksi adanya logam berat pada air irigasi, tanah dan sayuran kangkung agar mendapatkan nilai kandungan logam berat yang spesifik.

K. Hasil Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian terdahulu berfungsi memberikan gambaran dalam penelitian ini. Adapun beberapa penelitian terdahulu yang relevan terkait dengan penelitian diatas berkaitan dengan analisis dan identifikasi logam berat besi (Fe) pada Tabel 2.6 antara lain sebagai berikut:

Tabel 2. 6
Hasil Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti (Tahun)	Judul	Tempat Penelitian	Pendekatan & Analisis	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
1.	M. Yusuf, Kiki Nurtjahja, dan Rosliana Lubis (2016).	Analisis Kandungan Logam Pb, Cu, Cd Dan Zn Pada Sayuran Sawi, Kangkung dan Bayam di Areal Pertanian Dan Industri Desa Paya Rumput Titipapan Medan.	Areal Desa Paya Rumput Titipapan Medan.	Metode penelitian berdasarkan metode deskriptif analisis kuantitatif, penelitian berdasarkan untuk membedakan suatu gambaran tentang kandungan logam Pb, Cu, Cd, Zn yang terdapat pada sayuran yang ditanam di lokasi Desa Paya Rumput Titipapan Medan khususnya di kawasan industri Medan. Pengujian sampel logam Pb, Cu, Cd Dan Zn Pada Sayuran Sawi, Kangkung dan Bayam) dilakukan dengan metode AAS (<i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i>).	Hasil penelitian menunjukkan kandungan timbal pada kangkung memiliki baku mutu untuk dapat dikonsumsi oleh masyarakat, sehingga dapat dikategorikan pada lingkungan pertanian yang telah mengalami pencemaran logam berat dengan kandungan yang tinggi. Kandungan kadmium pada kangkung dan bayam masih dibawah batas ambang. Sedangkan kandungan Cu pada hasil analisis masih dalam batas maksimum.	1. Metode penelitian yakni analisis deskriptif. 2. Populasi yang digunakan yakni wilayah pertanian yang sudah tercemar oleh beberapa logam berat yang menyebabkan pencemaran lingkungan. 3. Penelitian dilakukan dengan menggunakan instrumen AAS (<i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i>).	1. Penelitian sebelumnya dilakukan di areal pertanian dan industri Kota Medan. 2. Penelitian sekarang dilakukan di areal pertanian kawasan industri Kecamatan Margaasih Bandung.
2.	Murraya, Nur dan Taufiq-Spj,	Kandungan Logam Berat Besi Fe Dalam	Pelabuhan Tanjung Emas	Metode yang digunakan adalah metode analisis deskriptif dengan membandingkan hasil	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan logam berat	1. Metode penelitian yakni analisis deskriptif dan	1. Penelitian sebelumnya dilakukan pada

	Endang Supriyantini (2018).	Air, Sedimen, dan Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>) di Perairan Trimulyo, Semarang.	Semarang Jawa Tengah.	uji sampel dengan baku mutu yang telah ditentukan. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode <i>purposive sampling</i> . Sedangkan pengujian sampel (air, sedimen dan kerang hijau) dilakukan dengan metode AAS (<i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i>).	besi (Fe) dalam air, sedimen, dan kerang hijau (<i>Perna viridis</i>) di perairan Trimulyo, Semarang sudah terkontaminasi logam berat besi (Fe). Beberapa penelitian tersebut pada umumnya sangat erat kaitannya dengan penelitian yang akan dilakukan terutama dari segi metodologis, baik dari segi metode penelitian maupun metode teknik analisis data dan sampel penelitian.	teknik <i>purposive sampling</i> . 2. Populasi yang digunakan yaitu wilayah lahan yang terindikasi pencemaran logam berat.	perairan asin (pelabuhan) Kota Tanjung Emas Semarang. 2. Penelitian sekarang dilakukan pada air irigasi, tanah dan sayuran kangkung di kawasan industri Kecamatan Margaasih Kabupaten Bandung.
3.	Rafiul Alam, Zia Ahmed dan 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.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sampel air diambil dari delapan stasiun yang berbeda. 2. Sampel tanah diambil setiap interval 25 cm dari permukaan tanah. 3. Sampel tanaman diambil dari 5 jenis tanaman yaitu ubi jalar, lobak, oyong atau gambas, terong dan padi. 4. Pengujian logam berat menggunakan instrumen AAS. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konsentrasi Fe, Mn, Cd, dan Pb dalam air lebih tinggi dari batas yang diperbolehkan. 2. 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, 	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>beberapa daerah akan berisiko tinggi.</p> <ol style="list-style-type: none">3. Konsentrasi Pb, Fe, dan Mn ditemukan lebih tinggi dari unsur-unsur lain di dalam tanah.4. Konsentrasi Pb, Mn dan Zn beberapa tanaman lebih tinggi dari batas yang diperbolehkan. <i>Luffa acutangula</i>, <i>Oryza sativa</i>, dan <i>Raphanus sativus</i> var. <i>longipinnatus</i> terakumulasi pada konsentrasi logam berat yang lebih tinggi.5. 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.		
--	--	--	--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

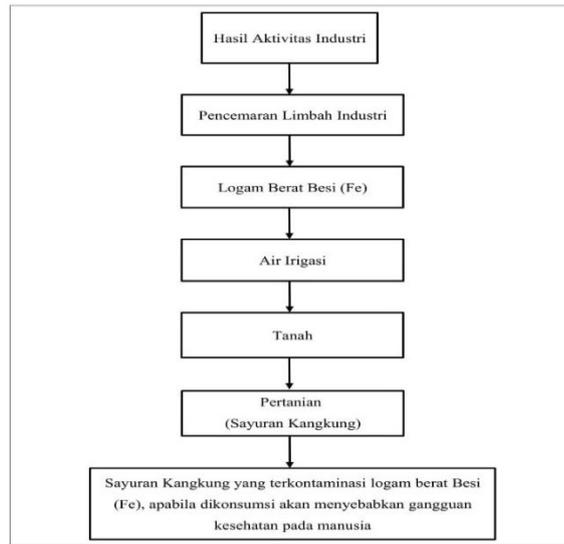
Melihat dari penelitian yang sebelumnya telah dilakukan berdasarkan uraian di atas berkaitan dengan analisis dan identifikasi logam berat pada areal pertanian khususnya pertanian sayuran. Secara umum ketiga penelitian tersebut memiliki korelasi yang cukup relevan dengan penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti. Relevansi tersebut diantaranya logam yang diujikan yaitu logam berat besi (Fe) dan instrumen yang dipakai yaitu AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*). Selain itu variabel-variabel penelitian memiliki relevansi yang cukup erat yaitu sama-sama mengidentifikasi kandungan logam berat yang ada pada areal pertanian khususnya sayuran kangkung darat (*Ipomoea aquatica*).

L. Kerangka Pemikiran

Hasil aktivitas industri dapat mengakibatkan pencemaran limbah industri. Limbah hasil aktivitas industri mengandung B3 (bahan berbahaya dan beracun) seperti logam berat terutama logam berat besi (Fe). 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 besi (Fe) pada tanah.

Logam berat yang terdapat pada air irigasi, tanah dan sayuran akan berpindah ke dalam tanaman. Tiro *et al.*, (2017, hlm. 81) mengungkapkan bahwa masuknya logam berat ke tanaman menjadi mediator penyebaran logam berat pada makhluk hidup, penyerapan logam berat melalui akar, batang, dan daun (stomata). Penyerapan logam berat besi (Fe) di dalam tanah akan terserap oleh tanaman yang ditanam di lahan pertanian dapat berpotensi dan memiliki resiko terpapar logam berat besi (Fe) yang masuk ke dalam tubuh melalui siklus rantai makanan, air minum, dan udara, sehingga sangat berbahaya. Selain itu, lebih lanjut Apriyanti & Candra (2018 dalam Nurhayati *et al.*, 2020, hlm. 75) menjelaskan bahwa kandungan logam berat yang tinggi di dalam tanah akan mengakibatkan tanaman mengakumulasi logam berat besi (Fe) di dalam tubuhnya, sehingga menyebabkan keracunan dalam tubuh manusia.

Dapat dilihat dari temuan tersebut maka dapat ditarik suatu kesimpulan, akumulasi logam berat pada sayuran kangkung yang melebihi nilai ambang batas atau baku mutu apabila dikonsumsi dalam jumlah yang banyak pada tubuh maka dapat berbahaya, sehingga akan menyebabkan gangguan kesehatan pada masyarakat dalam jangka waktu yang lama.



Gambar 2. 4 Kerangka Pemikiran
(Sumber: Dokumen Pribadi)

M. Keterkaitan Hasil Penelitian dengan Pembelajaran Biologi

Jika dikaitkan dengan pembelajaran biologi, hasil penelitian ini dapat menjadi contoh konkret bagi peserta didik terkait permasalahannya berupa pencemaran logam berat yang membahayakan bagi kesehatan tubuh manusia. Data-data hasil penelitian ini diantaranya kondisi parameter faktor klimatik seperti suhu udara, intensitas cahaya, dan pH tanah, serta kandungan logam berat yang terdapat pada air irigasi, tanah dan sayuran kangkung tersebut. Logam berat sebagaimana dimaksud adalah logam berat besi (Fe) yang terakumulasi pada air irigasi, tanah dan sayuran kangkung di kawasan industri Kecamatan Margaasih Kabupaten Bandung. Hasil penelitian kaitannya dengan pembelajaran yaitu bahwa hasil penelitian ini dapat dijadikan contoh konkret salah satunya lingkungan hidup serta berbagai pencemaran yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan.

Materi pembelajaran mengenai berbagai macam pencemaran yang bisa terjadi pada suatu lingkungan berdasarkan kurikulum 2013 terdapat pada kelas X/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 dijadikan salah satu rujukan atau bahan ajar bagi pembelajaran biologi.