

## BAB II

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

### A. Industri

Dikutip dari laman bisnis.com, Saputra, (2021, hlm. 1) menjelaskan bahwa berdasarkan *Survei World Competitiveness Yearbook (WCY)* yang dilakukan oleh *Industrial Development Report (IMD)* tahun 2021, Indonesia berada pada peringkat 37 yang sebelumnya pada tahun 2019 Indonesia berada pada peringkat 40. Dari data tersebut dapat diketahui jika Indonesia termasuk kedalam salah satu negara yang dalam pertumbuhan industrinya cukup pesat dari tahun ke tahun terutama dalam industri manufaktur seperti tekstil atau garmen, otomotif, elektronik dan lain-lain sebagai upaya dalam meningkatkan pertumbuhan ekonomi negara yang lebih baik. Menurut UU No. 3 tahun 2014 Tentang Perindustrian pada BAB I pasal 1 ayat 2 menyebutkan bahwa "Industri adalah seluruh bentuk kegiatan ekonomi yang mengolah bahan baku dan/atau memanfaatkan sumber daya industri sehingga menghasilkan barang yang mempunyai nilai tambah atau manfaat lebih tinggi, termasuk jasa industri".

Mulyadi & Rijal, (2018, hlm. 179) mengungkapkan bahwa industrialisasi dalam suatu negara dapat berdampak pada berbagai bidang kehidupan, dimana perubahan tersebut dipengaruhi oleh 3 faktor dominan, yaitu berubahnya pola pendapatan masyarakat, berubahnya sistem kerja masyarakat dan berubahnya lingkungan karena limbah yang dibuang ke lingkungan. Pesatnya pertumbuhan industri dalam suatu negara juga dapat mempengaruhi kehidupan sosial masyarakat, seperti salah satunya peningkatan pendapatan masyarakat yang berpengaruh terhadap taraf hidup yang lebih baik, namun jika dilihat dari dampak negatifnya masyarakat menjadi lebih konsumtif. Dalam upaya menjaga efisiensinya, maka proses industrialisasi pun akan semakin meningkat dan memanfaatkan semaksimal mungkin sumber daya yang ada, sehingga dalam

prosesnya akan menghasilkan suatu produk buangan berupa limbah yang dapat mencemari lingkungan di sekitarnya, baik itu udara, tanah dan air.

Jika dibiarkan produk sampingan limbah industri tersebut tidak mungkin dapat diolah secara biologi lagi oleh alam. Sehingga dapat berdampak pada makhluk hidup di sekitarnya, tak terkecuali manusia. Masalah pencemaran lingkungan tersebut, terutama akibat dari pembuangan limbah industri tidak dapat disepelekan, perlu adanya tindakan yang konkret dari pemerintah, agar para pemilik industri melakukan tindakan terhadap limbah yang dikeluarkan dari hasil produksi sebelum dibuang ke lingkungan.

## **B. Pencemaran Lingkungan**

Menurut UURI No. 32 tahun 2009 Tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pada BAB 1 pasal 1 ayat 14 menjelaskan bahwa “Pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan”. Definisi lain diungkapkan oleh Palar (2012, hlm. 10) bahwa “Pencemaran atau polusi adalah suatu kondisi yang telah berubah dari bentuk asal pada kondisi yang lebih buruk”. Dari beberapa pengertian tersebut, dapat disimpulkan bahwa Pencemaran lingkungan adalah masuknya suatu bahan pencemar ke dalam lingkungan yang menyebabkan perubahan wujud lingkungan dari bentuk asalnya sehingga terjadi penurunan kualitas dari lingkungan tersebut yang berdampak pada kesehatan dan ketenangan makhluk hidup dalam lingkungan.

Pencemaran lingkungan termasuk kedalam salah satu faktor yang menyebabkan kualitas suatu lingkungan dapat mengalami perubahan. Ciri dari suatu lingkungan telah tercemar dapat diamati dari perubahan-perubahan dalam struktur/susunan lingkungan tersebut, sehingga wujudnya tidak sama lagi seperti semula. Pencemaran terjadi karena masuknya polutan yang merupakan zat atau komponen dari pencemaran kedalam lingkungan hidup yang bercampur dengan komponen lingkungan sehingga menjadi polusi. Suatu zat dapat dikatakan sebagai polutan apabila keberadaan zat tersebut dapat merugikan organisme lain. Muslimah (2015, hlm. 12) memaparkan bahwa zat dapat dikatakan polutan apabila jumlah zat

tersebut melebihi batas normal dan ada pada waktu serta tempat yang tidak tepat, serta polutan memiliki sifat merusak dalam jangka waktu lama ataupun dapat merusak untuk sementara waktu.

Dilihat dari sudut pandang biologi, polutan dapat digolongkan dalam dua kelompok besar, yaitu polutan *degradable* dimana polutan masih dapat diuraikan melalui proses penguraian oleh alam sehingga polutan tersebut tidak membahayakan bagi lingkungan, pada umumnya polutan *degradable* adalah bahan organik, seperti sisa hewan atau tumbuhan mati, kotoran hewan, dll. sedangkan polutan *non-degradable* sukar atau bahkan tidak bisa diuraikan oleh alam, bahkan meskipun dapat terurai secara alami, polutan tersebut bisa memerlukan waktu yang sangat lama. Contoh dari polutan *non-degradable* yaitu sampah plastik, unsur-unsur logam seperti Cr, Fe, Cu, dll.

### **1. Penyebab Terjadinya Pencemaran Lingkungan**

Manusia melakukan berbagai kegiatan bertujuan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya dengan cara memanfaatkan sumber daya alam yang tersedia. Aktivitas yang tinggi dan tanpa diiringi dengan pemanfaatan dan pengolahan yang baik menimbulkan berbagai dampak buruk bagi kehidupan manusia dan tatanan lingkungan hidupnya, sehingga memunculkan ketidakseimbangan yang menyebabkan lingkungan alam berubah dari bentuk asal ke bentuk baru yang condong ke arah lebih buruk. Kegiatan-kegiatan yang dilakukan oleh manusia pada akhirnya akan menghasilkan sisa berupa sampah atau limbah yang dibuang ke lingkungan. Menurut PPRI No. 114 tahun 2014 tentang pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun pada BAB 1, pasal 1 di ayat 2 menyebutkan bahwa “limbah adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan”. Palar (2012, hlm. 11) menjelaskan bahwa limbah dapat digolongkan kedalam beberapa jenis, sebagai berikut:

Limbah atau dalam bahasa ilmiahnya disebut juga dengan *polutan*, dapat digolongkan atas beberapa kelompok berdasarkan pada jenis, sifat dan sumbernya. Berdasarkan pada *jenis*, limbah dikelompokkan atas golongan limbah padat dan limbah cair. Berdasarkan pada *sifat* yang dibawanya, limbah dikelompokkan atas limbah organik dan limbah an-organik. Sedangkan bila berdasarkan pada *sumbernya* limbah dikelompokkan atas limbah rumah tangga atau limbah domestik dan limbah industri.

**a. Berdasarkan Jenisnya**

Berdasarkan jenisnya limbah dikelompokkan menjadi dua yaitu limbah padat dan limbah cair. limbah padat dapat berasal dari berbagai kegiatan yang dilakukan oleh manusia, seperti limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri ataupun dari kegiatan domestik seperti limbah padat yang berasal dari kegiatan perdagangan, perkantoran, rumah tangga, peternakan, dan lain-lain. Limbah padat sendiri adalah bahan buangan dari suatu kegiatan yang sudah tidak digunakan lagi dan dibuang dalam bentuk padatan, contohnya seperti kayu, kertas, plastik, kaleng, kaca, karet dan lain-lain. Menurut Nurlaini, (2019, hlm. 74) menyatakan bahwa limbah padat dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu limbah padat yang dapat didaur ulang seperti tekstil, plastik, potongan logam dan lain-lain, serta limbah padat yang tidak punya nilai ekonomis yang biasanya dapat ditangani salah satunya dengan cara diolah kembali baik itu dibakar maupun ditimbun.

Palar (2012, hlm. 12) menyatakan bahwa limbah cair yaitu semua bahan yang berwujud zat cair atau larutan yang merupakan bahan sisa yang sudah tidak digunakan lagi. Limbah cair dapat bersumber dari kegiatan industri ataupun pabrik yang memerlukan air dalam prosesnya seperti air limbah hasil industri tekstil yang mengandung zat pewarna sintetis yang dapat mencemari perairan ataupun dari kegiatan rumah tangga seperti air bekas mencuci, busa detergen dan lain-lain.

**b. Berdasarkan Sifatnya**

Berdasarkan sifatnya limbah dikelompokkan menjadi limbah organik dan anorganik. Limbah organik bersumber dari berbagai jenis bahan sisa yang berasal dari makhluk hidup baik itu tumbuhan, hewan atau manusia yang nantinya dapat terurai secara alami oleh bantuan organisme dekomposer. Meskipun limbah organik termasuk bahan yang sudah tidak diperlukan, namun jika dilakukan pengelolaan dengan benar limbah tersebut dapat digunakan kembali dengan fungsi yang lain, misalnya limbah organik yang bersumber dari aktivitas rumah tangga, pasar, maupun peternakan seperti buah-buahan dan sayuran yang sudah busuk ataupun kotoran hewan ternak dapat diolah kembali menjadi kompos atau pupuk yang kaya akan unsur hara yang baik untuk tanaman.

Menurut Taufiq & Maulana (2015, hlm. 69) menyatakan bahwa limbah anorganik bersumber dari sisa manusia yang sukar terurai oleh organisme dekomposer, sehingga sampah anorganik memerlukan waktu yang sangat lama untuk diuraikan. Oleh karena itu kesadaran akan pengelolaan sampah anorganik sangat diperlukan agar dampak negatif dari sampah tersebut dapat teratasi, dan bahkan dapat memberikan dampak positif apabila diolah dengan benar. Misalkan limbah kaleng, plastik, karet, logam, ataupun kaca dapat diolah menjadi barang-barang yang memiliki nilai guna dan ekonomis.

### **c. Berdasarkan Sumbernya**

Dilihat dari sumbernya terdapat limbah rumah tangga yang umum dijumpai di sekitar kita, baik itu limbah rumah tangga dalam bentuk padat, seperti limbah barang dari plastik, kaca, atau kertas, serta limbah sisa makanan, ataupun limbah rumah tangga dalam bentuk cair, seperti air detergen, sabun atau pewangi dan minyak. Limbah rumah tangga bersumber dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga yang berasal dari satu atau beberapa rumah. Keberadaan dari limbah rumah tangga dapat mempengaruhi kualitas lingkungan, terutama perairan. Air yang sudah tercemar oleh limbah rumah tangga misalkan karena air bekas cucian ataupun mandi yang mengandung sabun, detergen atau minyak akan menyebabkan kualitas air menurun.

Menurut Hasibuan (2016, hlm. 45) air yang sudah tercemar oleh limbah tersebut tidak dapat digunakan lagi untuk menunjang kebutuhan dan akan menimbulkan dampak sosial yang luas, serta butuh waktu yang lama untuk memulihkan kualitas air ke keadaan semula. Hasibuan (2016, hlm. 46-47) menambahkan, terdapat dampak negatif dari pencemaran limbah rumah tangga, yang mana dapat menyebabkan eutrofikasi pada lingkungan perairan karna kandungan bahan kimia yang berasal dari detergen menyebabkan ledakan pertumbuhan alga dan fitoplankton, selain itu sampah plastik juga dapat menyebabkan dampak negatif bagi makhluk hidup khususnya hewan baik di darat maupun di perairan jika sampai hewan tersebut mengonsumsinya.

Selain limbah rumah tangga, juga terdapat limbah industri. Perkembangan industri yang begitu pesat memberikan dampak positif bagi perekonomian

Indonesia, namun pesatnya pertumbuhan industri tidak selalu membawa dampak positif, terdapat pula dampak negatif yang dapat menyebabkan permasalahan lingkungan. Dalam proses pengolahan produk menjadi suatu barang jadi yang siap dipasarkan, pastinya akan terdapat komponen yang sudah tidak digunakan lagi, yang mana komponen tersebut disebut sebagai limbah industri. Menurut Palar (2012, hlm. 12) menyatakan bahwa “Limbah industri adalah semua jenis bahan sisa atau bahan buangan yang berasal dari hasil sampingan suatu proses perindustrian”.

Terdapat berbagai jenis limbah industri, limbah yang dihasilkan tergantung dari jenis atau bahan baku yang digunakan dalam proses produksi ataupun penentuan prosedur produksi yang digunakan, hal tersebut dapat mempengaruhi jenis limbah yang dihasilkan. Misalnya industri tekstil menghasilkan limbah berupa potongan kain dan juga limbah cair yang mengandung salah satunya zat pewarna sintesis, kemudian limbah B3 yang dihasilkan dari industri mesin kendaraan, dimana limbah berasal dari cairan pencuci, residu pada saat proses produksi, residu cat, dan lain-lain, selain itu ada juga limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi yang berasal dari industri migas, dan sebagainya.

Dikutip dari laman website Khalid, (2021, hlm. 1) ia memaparkan bahwa berdasarkan karakteristiknya, limbah industri dibagi menjadi 4 yaitu limbah padat yang memiliki bentuk padatan seperti pakaian, plastik, kabel listrik, lumpur sisa industri dan lain-lain, limbah cair memiliki bentuk cair yang pada umumnya dibuang langsung ke perairan sehingga dapat mencemari perairan tersebut, contohnya seperti zat pewarna pakaian, limbah cair produk makanan, sisa-sisa bahan kimia dan lain-lain, limbah gas berupa molekul gas yang dapat mencemari udara seperti asap hasil pembakaran dari kegiatan industri, dan yang terakhir adalah limbah B3 yang karena sifat, konsentrasi ataupun jumlahnya baik langsung maupun tidak langsung dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan makhluk hidup, contohnya seperti limbah kimia yang mengandung logam-logam berat yang mencemari suatu perairan dapat berdampak negatif bagi makhluk hidup yang menggunakan air yang telah terkontaminasi limbah B3 tersebut.

Menurut Putra, (2016, hlm. 134-135) limbah industri memiliki andil besar dalam pencemaran perairan. Ia memaparkan bahwa:

Meski persoalan air limbah domestik yang tidak dikelola dan sampah secara kasatmata terlihat parah, namun limbah industri juga merupakan penyebab penting terhadap pencemaran sungai. Secara kuantitas limbah industri diklaim lebih sedikit dibandingkan limbah domestik, tetapi berdasarkan kajian air limbah industri lebih terkonsentrasi dan mengandung banyak materi-materi berbahaya.

Dari pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa meskipun secara kuantitas limbah industri lebih sedikit dibanding limbah domestik, namun berdasarkan kajian, limbah industri lah yang lebih berbahaya dibanding limbah domestik ketika mencemari suatu perairan. Limbah yang merupakan produk sampingan dari kegiatan industri dapat berwujud gas, padat maupun cair. Martini *et.al.*, (2020, hlm. 27) memaparkan bahwa dibandingkan dengan limbah lain, secara kuantitas limbah cair industri lebih tinggi serta memiliki kandungan polutan yang beragam, seperti salah satunya yaitu logam berat. Menurut Pesulima *et.al.*, (2018, hlm. 56) memaparkan bahwa gugus logam berat yang dikandung dalam perairan dapat bersumber dari industri tekstil, cat/tinta warna dan pelapisan logam, bahan agro kimia dan lain-lain. Enrico (2019, hal. 6) memaparkan bahwa secara volum industri tekstil lebih banyak menghasilkan limbah cair berupa pewarna dibandingkan limbah padat.

Kurniasih, (2008 dalam Komarawidjaja, 2017, hlm. 174) menjelaskan bahwa alasan logam berat terdapat dalam zat pewarna karena logam berat berperan sebagai katalis yang digunakan pada proses pembuatan zat pewarna tersebut, selain itu logam berat juga berperan sebagai molekul dari zat pewarna tersebut. Dahruji *et.al.*, (2017, hlm. 38) memaparkan bahwa limbah buangan industri mengandung zat-zat yang berbahaya seperti asam anorganik dan senyawa organik yang dapat menjadi bahan pencemar bagi lingkungan perairan sehingga dapat membahayakan makhluk hidup yang menggunakannya. Ardiatma & Ariyanto (2019, hlm. 8) memaparkan terdapat beberapa dampak negatif yang dapat dialami oleh manusia apabila tercemar oleh limbah, yakni:

...dapat menyebabkan seseorang sakit kepala dan pusing, menimbulkan keracunan, jika orang tersebut terlambat ditolong dapat mengakibatkan kematian, kanker kulit, katarak, infeksi saluran pernafas penyakit kulit,

kolera, disentri, hati, ginjal, cacat pada saraf mata, kerusakan hati, dan hipertensi.

Melihat dari dampak buruk limbah industri bagi lingkungan, perlu adanya tindakan pencegahan dan penanggulangan terhadap pencemaran limbah tersebut, sehingga dampak negatif dari keberadaan limbah tersebut dapat diatasi.

### C. Logam Berat

Conel & Miller (dalam Adhani & Husaini, 2017, hlm. 76) menjelaskan bahwa “logam berat adalah unsur logam dengan berat molekul tinggi, berat jenisnya lebih dari 5 g/cm<sup>3</sup>”. Sedangkan menurut peraturan BPOM Nomor 5 tahun 2018 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat Dalam Pangan Olahan pada bab 1 pasal 1 ayat 4 menyatakan “logam berat adalah elemen kimiawi metalik dan metaloid, memiliki bobot atom dan bobot jenis yang tinggi, yang bersifat racun bagi makhluk hidup”. Dari beberapa pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa logam berat merupakan unsur-unsur kimia yang terdiri dari metalik dan metaloid yang memiliki karakteristik sama dengan logam-logam lainnya seperti memiliki massa jenis yang tinggi.

Darmono, (1995, dalam Adhani & Husaini, 2017, hlm 13) memaparkan bahwa penggolongan logam berat didasarkan atas berat dari logam tersebut, dimana logam berat memiliki berat 5 gram / lebih dalam setiap cm<sup>3</sup>, dan logam ringan sebaliknya, yaitu memiliki berat kurang dari 5 gram dalam setiap cm<sup>3</sup>. Moore & Ramamoorthy (1984 dalam F. Sari, 2017, hlm. 5) menjelaskan mengenai beberapa sifat dari logam berat, yaitu :

1. Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai (dihilangkan)
2. Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan
3. Memiliki waktu paruh yang tinggi dalam tubuh biota laut
4. Memiliki nilai faktor konsentrasi (*concentration factor* atau *enrichment factor*) yang besar dalam tubuh biota laut. Faktor konsentrasi atau disebut pula koefisien bio akumulasi adalah rasio antara kadar polutan dalam tubuh biota akuatik dan kadar polutan yang bersangkutan dalam kolom air.

Nursagita & Sulistyaningsih, (2021, hlm. 23) menjelaskan terdapat beberapa unsur-unsur logam berat sebagai berikut:

Aluminium (Al), Antimony (Sb), Cadmium (Cd), Kromium (Cr), Kobalt (Co), Merkuri (Hg), Cuprum (Cu), Besi (Fe), Mangan (Mn), Molybdenum

(Mo), Selenium (Se), perak (Ag), Timah (Sn), Plumbum (Pb), Vanadium (V) dan Zinc (Zn). Logam berat seperti; Merkuri (Hg), Cadmium (Cd), Plumbum (Pb), Chromium (Cr), Cuprum (Cu), Cobalt (Co) sangat berbahaya bila kadar yang terlarut dalam tubuh manusia cukup tinggi atau melebihi ambang batas baku.

Palar (2012, hlm. 23-24) memaparkan bahwa logam berat memiliki kriteria yang sama dengan logam lainnya, namun yang membedakan ialah ketika logam berat tersebut berikatan dan masuk kedalam tubuh makhluk hidup, contohnya seperti logam Fe yang apabila masuk dengan jumlah cukup banyak dalam tubuh, maka tidak akan menimbulkan efek bagi tubuh karena logam tersebut dibutuhkan oleh tubuh untuk mengikat oksigen dalam eritrosit, berbeda halnya dengan Cu yang apabila kandungan Cu dalam tubuh berlebihan akan mengganggu fungsi fisiologis. Dalam jumlah yang sedikit logam berat memiliki peranan dalam pengaturan fungsi fisiologi dan biokimia dalam tubuh makhluk hidup, namun akan menjadi berbahaya apabila kandungan logam berat dalam tubuh melebihi ambang batas yang dapat diterima oleh tubuh.

### **1. Sumber Pencemaran Logam Berat**

Akumulasi logam berat dalam lingkungan dapat terjadi karena dua kemungkinan, yang pertama logam berat terakumulasi dari alam dan yang kedua logam berat terakumulasi dari aktivitas manusia. Menurut Nursagita & Sulistyaningsih, (2021, hlm. 23) terdapat beberapa ciri dari logam berat yang bersumber dari alam, yaitu sebagai berikut:

1. Berasal dari daerah pantai (coastal supply), yang bersumber dari sungai, abrasi oleh aktivitas gelombang.
2. Berasal dari logam yang dibebaskan aktivitas gunung berapi dan logam yang dibebaskan proses kimiawi.
3. Berasal dari lingkungan daratan dan dekat pantai, termasuk logam yang dibawa oleh ikan dari atmosfer berupa partikel debu.

Logam berat yang terakumulasi di lingkungan baik itu pada tanah, batuan, perairan dan ataupun pada atmosfer bumi dapat terjadi baik secara alami maupun karna kegiatan manusia.

#### **a. Sumber Pencemar pada Tanah**

Secara alami unsur logam dalam tanah dan batuan umumnya ditemukan sebagai bagian dari mineral. Logam pada batuan dapat bersumber dari berbagai

batuan, yang mana menurut Jumaluddin & Umar, (2018, hlm. 51) kandungan logam pada batuan dipengaruhi oleh struktur geologi dan topografi. Contohnya seperti batuan ultrabasik. Menurut Subagyo *et.al.*, (2000 dalam Suryani dkk, 2018, hlm. 111) menjelaskan bahwa batuan ultrabasik termasuk batuan plutonik dalam kulit bumi dimana sumber dari batuan tersebut berasal dari pembekuan dan kristalisasi magma yang terbentuk secara perlahan. Pelapukan batuan ultrabasik dalam tanah akan melepaskan logam berat dalam jumlah yang tinggi yang dapat berdampak negatif bagi lingkungan. Ketika batuan mengalami pelapukan, logam berat akan berpindah dari batuan ke tanah, sehingga semakin tinggi unsur logam berat dalam batuan maka akan semakin tinggi kandungan logam berat dalam tanah.

Penelitian lain dilakukan oleh Jumaluddin & Umar, (2018, hlm. 51-52) yang mana dari hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap 4 sampel batuan, diketahui bahwa terdapat kandungan logam berat seperti Fe, Mn dan Ni dengan konsentrasi yang berbeda, hal ini karena dipengaruhi oleh struktur geologi dan topografi di wilayah tersebut. Selain dari pelapukan batuan logam berat yang terakumulasi pada tanah juga dapat bersumber dari pembusukan bahan organik yang mengandung logam berat, ataupun bersumber dari aliran air tanah yang membawa mineral logam yang mengalir sampai permukaan dan mengendap dalam sedimen. Kandungan logam berat pada tanah. Selain berasal dari emisi gas buangan industri, Syachroni, (2017, hlm. 23) menjelaskan bahwa sumber masuknya logam berat pada tanah dapat berasal dari penggunaan bahan agrokimia, penggunaan pupuk organik berbahan limbah dan sampah industri, ataupun dari penambangan dan peleburan logam.

Selain itu dalam penelitian Yulius & Afdal, (2014,, hlm. 203) memaparkan bahwa emisi pencemaran tanah yang paling dominan berasal dari emisi kendaraan bermotor, dimana hal tersebut telah terbukti dari hasil penelitiannya yang menunjukkan bahwa aktivitas lalu lintas yang tinggi menyebabkan tingginya konsentrasi logam berat di tanah sekitar jalanan tersebut dibanding dengan jalan yang lebih sepi dari aktivitas lalu lintas. Muslimah, (2015, hlm. 13) memaparkan bahwa pencemaran logam berat pada tanah juga dapat berasal dari perairan, air yang mengandung bahan pencemar seperti logam, zat radioaktif, limbah, sampah rumah

tangga, sisa pupuk, dan lain-lain pada akhirnya dapat mencemari tanah tempat air tersebut ataupun tanah yang dilaluinya.

#### **b. Sumber Pencemar pada Perairan**

Sumber alami dari logam berat yang berada dalam perairan dapat berasal dari pengikisan batuan mineral yang terbawa oleh air dan masuk ke dalam perairan, berasal dari partikel logam yang berada di udara yang terbawa oleh air hujan, ataupun dapat berasal dari abu vulkanik dari letusan gunung berapi yang dapat menyebabkan pencemaran logam berat pada tanah dan perairan. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Saragih & Haloho, (2020, hlm. 64) menjelaskan bahwa abu vulkanik dari letusan gunung berapi di wilayah kabupaten Karo ternyata mengandung logam berat Pb, Cu dan Mn yang terakumulasi dalam tanah dan perairan meskipun ketiga unsur logam berat tersebut berada dalam konsentrasi yang rendah.

Selain dari sumber alami, tingginya kadar logam berat dalam perairan juga disebabkan oleh aktivitas manusia yang berhubungan dengan pembuangan limbah domestik ataupun industri tekstil dimana zat pewarna yang dibuang sebagai limbah cair mengandung logam berat seperti Cr, As, Cd, dan lain-lain yang dapat mencemari ekosistem perairan (Budiastuti *et.al.*, 2016, hlm 120 ; Komarawidjaja, 2017, hlm. 174). Handes *et.al.*, (2021, hlm. 49) juga memaparkan bahwa sumber logam berat yang mengontaminasi perairan dapat berasal dari penggunaan pupuk secara berlebihan.

#### **c. Sumber Pencemar pada Udara**

Berbeda dengan logam berat yang berada di tanah dan perairan, logam berat yang berada di atmosfer umumnya berasal dari kegiatan manusia. Meskipun ada beberapa yang bersumber dari alam seperti aktivitas mikroorganisme dan kebakaran hutan. Selain itu aktivitas dari letusan gunung berapi serta erosi juga berpengaruh terhadap penambahan jumlah logam berat diudara namun tidak terlalu kentara peningkatannya (Palar, 2012, hlm. 38). Menurut Mukhtar *et.al.*, (2014, hlm 32) memaparkan bahwa terdapat unsur-unsur logam berat yang berasal dari kegiatan industri dan pembakaran batubara yang dapat menjadi partikel pencemar

di udara, seperti Pb, As, Cd, Hg, Cr, Mn dan Ni, serta unsur-unsur logam tersebut dapat mengendap dan menumpuk baik pada sedimen, tanah maupun organisme.

## 2. Toksisitas Logam Berat

Logam berat merupakan salah satu mikro nutrien yang dibutuhkan oleh makhluk hidup dalam jumlah tertentu. Unsur-unsur logam berat dapat berasal dari alam ataupun dari aktivitas manusia, namun secara umum tingginya konsentrasi logam berat di suatu lingkungan diakibatkan oleh aktivitas manusia dari berbagai limbah yang dihasilkan yang tidak dikelola terlebih dahulu sehingga dapat menjadi bahan pencemar, dan pada akhirnya dapat menjadi bahan yang toksik bagi ekosistem. Logam berat ada yang tidak berbahaya bagi tubuh yang disebut logam berat esensial dan ada yang berbahaya bagi tubuh yang disebut logam berat non esensial. Menurut Irhamni *et.al.*, (2017, hlm. 19-21) logam berat esensial termasuk kedalam unsur logam yang dibutuhkan oleh tubuh dalam jumlah tertentu dan apabila berlebih dapat menjadi racun bagi tubuh, sedangkan logam berat non esensial memiliki sifat racun bagi tubuh dan fungsinya masih belum banyak diketahui. Cu dan Zn adalah beberapa contoh dari logam berat esensial, serta Pb dan Hg adalah contoh logam berat non esensial (Syaifullah *et.al.*, 2018, hlm. 70).

Logam berat Zink (Zn) sebagai salah satu logam berat esensial dalam jumlah yang sesuai dan tidak berlebih dalam tubuh dapat berperan dalam metabolisme tubuh, aktivasi katalis enzim, menjaga imun tubuh, dan lain-lain. Namun jika kandungan Zink dalam tubuh lebih dari batas maksimal yang dianjurkan "...dapat menyebabkan ataksia, lemah, lesu, dan defisiensi tembaga" (Rahayu *et.al.*, 2013, hlm. 2). Contoh lain yaitu logam berat Kromium (Cr) sebagai logam berat esensial, jika terakumulasi dalam tubuh pada konsentrasi tinggi, efek toksiknya dapat menyebabkan munculnya gangguan dalam tubuh seperti gangguan sistem imun, gangguan susunan syaraf ataupun gangguan dan kerusakan ginjal.

Selain dilihat dari segi logam esensial dan non esensial, toksisitas logam berat juga dapat dilihat berdasarkan tingi rendahnya racun dan daya racun dari logam tersebut. Berniyanti, (2018, hlm. 20) mengelompokkan racun dari logam berat menjadi tiga kelas sebagai berikut:

- a. Kelas B, yaitu sangat beracun seperti Hg, Pb, Sn, dan Cu:

- 1) Paling efektif untuk berikatan dengan gugus sulfhidril (-SH).
  - 2) Dapat menggantikan posisi ion logam antara.
  - 3) Bersama dengan logam antara dapat larut dengan lemak: mampu berpenetrasi pada membran sel sehingga ion logam dapat menumpuk/terakumulasi, contoh: Hg, Pb, dan Sn).
  - 4) Dalam metalloprotein menunjukkan reaksi redoks:  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Cu}^{+}$
- b. Kelas antara, yaitu daya racun sedang seperti Ni dan Zn
  - c. Kelas A, yaitu daya racun rendah seperti Mg

Selain itu, Darmono, (1995, dalam Berniyanti, 2018, hlm. 19) juga mengelompokkan logam berat berdasarkan atas tinggi rendahnya racun yang dimiliki logam berat tersebut sebagai berikut:

- a. Bersifat toksik tinggi yang terdiri atas unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn.
- b. Bersifat toksik sedang terdiri atas unsur Cr, Ni, dan Co.
- c. Bersifat toksik rendah terdiri atas unsur Mn dan Fe.

Sutamiharja (2006, dalam Adhani & Husaini, 2017, hlm. 23-25) memaparkan bahwa terdapat 4 faktor yang dapat mempengaruhi toksisitas dari logam berat, yaitu

#### 1. Tingkat dan lamanya pajanan,

Semakin lama dan tinggi tingkat pajanan logam berat maka akan semakin tinggi konsentrasi logam berat tersebut dalam tubuh organisme tersebut, hal tersebut terjadi karena logam berat memiliki karakter bioakumulatif dan biomagnifikasi. Contohnya seperti logam berat Pb, ketika masuk ke dalam tubuh organisme, logam berat tersebut "...akan terus diakumulasi hingga organisme tersebut tidak mampu lagi mentolerir kandungan logam berat timbal dalam tubuhnya" (Ika *et.al.*, 2012, hlm. 108).

#### 2. Bentuk Kimia

Bentuk kimia dari logam juga dapat menentukan seberapa tinggi sifat toksik dari logam tersebut. Misalnya seperti logam Cr, yang tingkat toksisitas dari kromium ditentukan dari valensi ion-ionnya ketika berikatan membentuk suatu senyawa.  $\text{Cr}^{3+}$  lebih stabil dibanding  $\text{Cr}^{6+}$ .  $\text{Cr}^{6+}$  bersifat asam dan memiliki kelarutan dan mobilitas yang tinggi sedangkan  $\text{Cr}^{3+}$  bersifat amfoter, sehingga lebih stabil dan mudah terlarut terutama di pH asam. sehingga agar  $\text{Cr}^{6+}$  dalam lingkungan tidak membahayakan perlu adanya penyisihan salah satunya dengan mereduksinya menjadi  $\text{Cr}^{3+}$ . Tingginya konsentrasi kromium dalam tubuh dapat menghambat kerja enzim dalam proses fisiologi dan metabolisme tubuh.

#### 3. Kompleks Protein Logam Berat

Salah satu karakteristik dari logam berat yaitu memiliki sifat afinitas yang tinggi terhadap gugus S yang dikandung oleh protein. Fe merupakan salah satu logam berat yang dapat berikatan dengan protein membentuk feritin atau hemosiderin.

#### 4. Faktor Penjamu

Darmono (2001, dalam Qoriah *et.al.*, 2015, hlm. 690) memaparkan bahwa terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi sifat toksik dari logam berat pada *host*/penjamu seperti dosis/kadar logam yang masuk, lamanya pemaparan, umur, jenis kelamin, kebiasaan makan makanan tertentu, kondisi fisik, kemampuan jaringan tubuh untuk mengakumulasi logam. Toksisitas logam berat juga dapat dipengaruhi oleh faktor kehamilan, karna logam berat tertentu seperti Pb, dan Hg dapat masuk kedalam plasenta janin yang dapat mempengaruhi perkembangan dan pertumbuhannya (Adhani & Husaini, 2017, hlm. 25).

### 3. Proses Terjadinya Keracunan Logam Berat

Ochilia, (1977 dalam Palar, 2012, hlm. 53-54) memaparkan bahwa mekanisme keracunan dikelompokkan menjadi 3 kategori sebagai berikut:

- (1) Memblokir atau menghalangi kerja gugus fungsi biomolekul yang esensial untuk proses-proses biologi, seperti protein dan enzim.
- (2) Menggantikan ion-ion logam esensial yang terdapat dalam molekul terkait
- (3) Mengadakan modifikasi atau perubahan bentuk dari gugus-gugus aktif yang dimiliki biomolekul.

Palar, (2012, hlm. 37) menambahkan bahwa tinggi rendahnya daya racun yang ditimbulkan oleh logam berat tergantung dari kondisi tertentu, misalnya pada suatu perairan yang memiliki konsentrasi logam berat melebihi ambang batasnya dapat menyebabkan biota didalamnya mati, dimana proses kematian akibat logam berat berawal dari akumulasi logam berat dalam organ biota yang lama kelamaan akan melebihi daya toleransi logam berat dalam organ tubuh biota tersebut, dan pada akhirnya akan menyebabkan keracunan dan mati. Terdapat dua istilah keracunan yaitu keracunan akut dan keracunan kronis. Seperti yang dipaparkan oleh Berniyanti, (2018, hlm. 20) bahwa keracunan dapat dikatakan akut apabila organisme yang terpapar bahan beracun terjadi dalam kurun waktu yang singkat atau sangat singkat, sedangkan keracunan dapat dikatakan kronis apabila terhirup

atau tertelannya bahan beracun oleh organisme dalam konsentrasi yang rendah namun dalam jangka waktu yang lama.

Agustina, (2014, hlm. 54) memaparkan bahwa pada manusia logam berat dapat masuk kedalam tubuh melalui mulut yang dibawa oleh media yang telah terkontaminasi, baik itu makanan atau minuman yang telah terkontaminasi oleh alat masak ataupun wadah kemasan, melalui pernafasan dari asap kegiatan industri atau pabrik. Bahkan kontaminasi logam berat dapat terjadi secara tidak langsung melalui aktivitas sehari-hari seperti bekerja. Orang-orang yang bekerja di bidang industri, laboratorium, pertanian dan pertambangan yang biasanya mengalami kasus keracunan oleh logam berat, karena secara langsung atau tidak langsung mereka terpapar logam berat tersebut dari lingkungan pekerjaan, baik dari tanah, air ataupun udara di sekitar.

Keracunan kronis dapat terjadi oleh orang-orang yang bekerja di tambang ataupun industri. Contoh dari keracunan kronis seperti yang dijelaskan oleh Lestari *et.al.*, (2015, hlm. 827-830), dalam penelitiannya ia menjelaskan bahwa terdapat kandungan Pb dalam darah para pekerja industri pengecoran logam yang telah melebihi nilai ambang batas, yang mana paparan logam berat Pb terjadi melalui udara berupa partikel debu logam, uap ataupun asap dari hasil produksi yang kemudian terhirup oleh para pekerja kemudian masuk ke sistem pernafasan sehingga menyebabkan terakumulasi dalam darah, ia menambahkan bahwa semakin tinggi kadar Pb di udara maka semakin tinggi pula kadar Pb dalam darah.

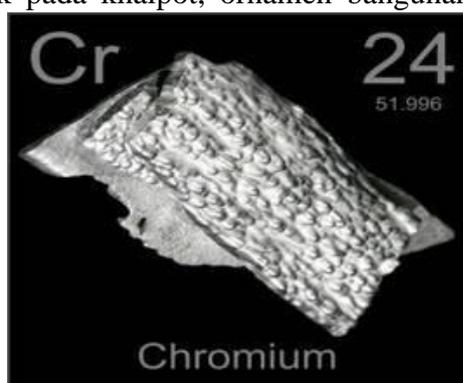
Keracunan akut dapat terjadi ketika pekerja tidak sengaja menghirup atau menelan bahan yang mengandung logam berat baik dalam bentuk padatan, gas maupun larutan. Ketika pekerja menghirup gas yang mengandung logam berat dengan konsentrasi tinggi, sistem pernafasan akan mengalami iritasi dan jika dibiarkan akan menyebabkan kematian, namun apabila konsentrasi logam yang dihirup rendah, efek dari paparan logam tersebut membutuhkan waktu yang cukup lama sampai memunculkan gejala.

#### **D. Logam Berat Kromium (Cr)**

Dikutip dari laman GeneCraft Lab, Luthfia, (2022, hlm. 1) memaparkan bahwa Kromium atau *Chromos* dalam bahasa Yunani yang berarti warna karena

Kromium memiliki warna yang beragam seperti hijau zamrud, merah rubi, serpentine sampai oranye, logam berat ini ditemukan pertama kali oleh ilmuan bernama Nicolas-Louis Vauquelin pada tahun 1797. Selain itu “...kromium bersifat keras, mengkilap, dan mudah pecah. Titik didih kromium sekitar 2642° C dan titik lelehnya 1900° C” (Luthfia, 2022, hlm. 1). Berdasarkan periodik unsur kimia, Kromium merupakan salah satu unsur logam berat dengan lambang Cr dengan nomor atom (NA) 24, berat atom (BA) 51,996 dan termasuk golongan VIB dengan konfigurasi elektron [Ar] 4s<sup>1</sup> 3d<sup>5</sup>, dilihat dari konfigurasi elektronnya, logam Kromium termasuk kedalam logam transisi karena orbital d belum terisi penuh dengan elektron, yang menyebabkan orbital d dapat berfungsi sebagai akseptor pasangan elektron dari orbital s.

Palar, (2012, hlm. 135) memaparkan bahwa jika didasarkan atas bilangan kimianya, persenyawaan dari logam berat Kromium terdiri dari tiga bilangan oksidasi yaitu 2+, 3+ dan 6+. Ketika unsur Kromium membentuk suatu senyawa, maka akan membentuk senyawa dengan sifat yang berbeda sesuai dengan tingkat bilangan oksidasinya. Wulaningtyas, (2018, hlm. 128) menyebutkan bahwa Cr<sup>2+</sup> ketika membentuk senyawa akan bersifat basa, dan Cr<sup>6+</sup> ketika membentuk senyawa akan bersifat asam, sedangkan Cr<sup>3+</sup> ketika membentuk senyawa akan bersifat amfoter sehingga lebih stabil. Berniyanti, (2018, hlm. 76-77) menjelaskan mengenai beberapa fungsi logam berat Kromium seperti berperan sebagai zat penghambat korosi baik pada knalpot, ornamen bangunan dan pada perhiasan,



**Gambar 2. 1 Logam Berat Kromium (Cr)**  
**Sumber: kimiakar.blogspot.com**

selain itu juga berfungsi sebagai zat pewarna, pelapis baja anti karat, bahan semen, pengawet kayu, antioksidan, serta dalam jumlah rendah Cr valensi III berperan Cat (paint)

## 1. Logam Berat Kromium (Cr) dalam Lingkungan

Masuknya logam Kromium dalam suatu lingkungan baik perairan, tanah maupun udara dapat berasal dari alam dan juga dari aktivitas manusia. Wulaningtyas, (2018, hlm. 128) memaparkan bahwa Kromium dalam bentuk murni tidak dapat ditemukan di alam, namun persenyawaan Kromium di alam akan ditemukan dalam bentuk unsur yang lain, contoh yang paling banyak ditemukan yaitu dalam bentuk *Chromite* ( $\text{FeOCr}_2\text{O}_3$ ) dan digunakan sebagai bahan mineral kromium. Berniyanti, (2018, hlm. 75) memaparkan bahwa kromium dengan valensi 3+ dan 6+ lah yang paling banyak di jumpai di alam. Di alam logam kromium dapat berasal dari hewan, tumbuhan, batuan dan juga tanah yang nantinya akan terakumulasi dan mengendap dalam sedimen perairan atau larut dalam perairan, tergantung dari faktor lingkungan seperti pH dan suhu pada lingkungan. Selain dari alam Adhani & Husaini (2017, hlm 35) menjelaskan mengenai sumber Kromium yang disebabkan oleh aktivitas manusia sebagai berikut:

Pencemaran kromium berasal dari buangan industri-industri pelapisan krom, pabrik tekstil, pabrik cat, penyamakan kulit, pabrik tinta dan pengilangan minyak. Hal tersebut berasal dari natrium kromat dan natrium dikromat yang merupakan spesies krom (VI) bersifat toksik sebagai bahan pokok untuk memproduksi bahan kimia krom, seperti bahan pewarna krom, garam-garam krom yang dipergunakan penyamakan kulit, pengawetan kayu, bahan anti korosif pada peralatan otomotif, ketel dan pengeboran minyak.

Islam & Hartono, (2016, hlm. 258) menjelaskan jika kontaminasi kromium di udara dapat berasal dari pembakaran batu bara, produksi baja, manufaktur kimia, pelapisan krom, insinerator dan emisi dari mobil. Sehingga Kromium di udara ditemukan dalam bentuk partikel atau debu yang akan masuk ke dalam sistem respirasi makhluk hidup. Paparan Kromium konsentrasi rendah dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan keracunan kronis yang akan mengakibatkan gangguan ginjal, karena kromium yang masuk melalui saluran respirasi akan berdifusi dalam paru-paru dan masuk kedalam peredaran darah, sehingga lama kelamaan akan terakumulasi dalam ginjal. Selain di udara, paparan kromium juga dapat terjadi di perairan. Logam berat Kromium di perairan dapat berasal dari alam, seperti erosi batuan, atau dapat juga berasal dari udara yang dibawa oleh hujan yang kemudian masuk ke perairan.

Limbah yang mengandung logam berat dari aktivitas manusia seperti dari hasil limbah industri tekstil, penyamakan kulit dan industri *elektroplating* juga berkontribusi dalam menyumbang logam berat kromium dalam perairan (Islam & Hartono, 2016, hlm. 258). Dampak dari pencemaran logam berat Kromium di perairan dijelaskan oleh Mauna *et.al.*, (2015, hlm. 2-3), dalam penelitiannya diketahui bahwa limbah dari industri *elektroplating* dapat mengandung logam berat karena salah satu bahan dalam industri tersebut menggunakan logam berat kromium, sehingga limbah hasil produksi yang tidak dilakukan pengolahan terlebih dahulu yang secara langsung di buang ke perairan dapat mencemari perairan, alhasil masyarakat yang menggunakan air yang sudah tercemar logam berat Kromium untuk mandi mencuci dan kakus akan mengalami dampak negatif dari paparan kromium, yang mana sebanyak 56,9% responden menyatakan adanya keluhan kesehatan seperti gatal-gatal, iritasi mata, borok, dan gelembung air pada kulit.

Kontaminasi logam berat Kromium dalam perairan bisa dibidang stabil, namun akan berdampak negatif apabila air yang sudah terkontaminasi logam berat terpapar secara langsung ataupun tidak langsung dalam tubuh organisme akuatik ataupun tanaman budidaya di pertanian. Kurniawati & Raharjo, (2017, hlm. 152) menjelaskan jika kromium memiliki sifat persisten, toksik, bioakumulatif dan sukar terurai di lingkungan sehingga dapat terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup melalui proses rantai makanan.

## **2. Reaksi Logam Berat Kromium (Cr) dalam Tubuh**

Kurniawati & Raharjo, (2017, hlm. 152) menjelaskan jika kromium memiliki sifat persisten, toksik, bioakumulatif dan sukar terurai di lingkungan sehingga dapat terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup melalui proses rantai makanan. Berniyanti, (2018, hlm. 75) memaparkan bahwa kromium dengan valensi 3+ dan 6+ lah yang paling banyak di jumpai di alam. Palar, (2012, hlm. 139) menjelaskan bahwa valensi dari ion logam berat Kromium menentukan daya racunnya. Kromium valensi tiga adalah material esensial dengan sifat racun yang rendah, berbeda dengan Kromium valensi enam yang merupakan pengoksidasi tinggi (Wiresspathi *et.al.*, 2012, hlm. 75). Hal serupa juga dipaparkan oleh Berniyanti, (2018, hlm. 75) ia memaparkan jika  $Cr^{3+}$  adalah unsur esensial dan apabila tubuh kekurangan unsur

tersebut akan menyebabkan gangguan metabolisme, namun jika berlebih akan menimbulkan efek bagi kesehatan seperti ruam kulit, dan berbeda halnya dengan  $\text{Cr}^{6+}$  yang tidak termasuk unsur esensial yang apabila terpapar melalui pencernaan atau pernapasan akan menimbulkan gangguan kesehatan seperti sakit perut, bisul, masalah pernapasan, sistem kekebalan yang lemah, ginjal dan kerusakan hati.

Pendapat lain juga dipaparkan oleh Medeiros *et.al* ( dalam Figueirôa *et.al.*, 2021) ia memaparkan bahwa  $\text{Cr}^{3+}$ , pada tingkat rendah, merupakan nutrisi penting untuk manusia karena terlibat dalam metabolisme glukosa, protein dan lipid, namun,  $\text{Cr}^{6+}$  sangat beracun bagi sayuran, hewan dan kesehatan manusia, dengan kemungkinan menyebabkan maag, iritasi pernafasan, kerusakan kornea, muntah, masalah pencernaan, hematologi, serta kanker. Selain pada manusia, logam Cr juga memiliki dampak positif pada tumbuhan, dalam jumlah yang sedikit logam Cr berperan sebagai unsur hara dalam pertumbuhan tanaman, salah satunya yaitu pembentukan daun. (M. Siaka, 2012, hlm. 113).

Cemaran Logam berat Kromium akan mengontaminasi suatu lingkungan seperti perairan, udara dan tanah. Sehingga baik tanaman maupun tumbuhan yang hidup di ekosistem tercemar akan ikut terpapar logam berat tersebut, logam akan terakumulasi pada jaringan tumbuhan sehingga apabila dikonsumsi oleh makhluk hidup, akan menimbulkan keracunan apabila melebihi batas toleransi. Nursagita & Sulistyaningsih, (2021, hlm. 129) memaparkan bahwa darah, kuku, rambut dan urine dapat menjadi indikator terhadap kontaminasi Kromium dalam tubuh, dan menurut WHO kontaminasi kromium dalam darah dapat menggambarkan kontaminasi kromium selama 7 hari dan pada urine relatif lebih sebentar sekitar 1-2 hari.

#### **E. Mekanisme Penyerapan dan Translokasi Logam Berat Pada Tanaman**

Logam berat yang terdistribusi dalam tanaman dapat bersumber dari lingkungan tempat tumbuhnya, baik itu dari sumber alami, seperti dari lapukan batuan ataupun dari limbah yang mengandung logam berat. Irhamni *et.al.*, (2017, hlm. 79) menjelaskan bahwa akumulasi logam berat pada tanaman terbagi menjadi tiga proses yang diawali oleh penyerapan logam berat oleh akar, kemudian logam berat tersebut di translokasikan ke bagian-bagian organ lain dalam tumbuhan dan

yang terakhir logam berat tersebut disimpan pada bagian sel tertentu agar keberadaannya tidak menghambat atau mempengaruhi metabolisme tumbuhan tersebut.

Tanaman dapat menjadi media penyerapan logam berat pada lingkungan, logam berat yang terakumulasi dalam tanaman berawal dari penyerapan unsur hara oleh akar tanaman di dalam tanah, dan biasanya senyawa yang larut air akan diserap oleh akar bersamaan dengan penyerapan air, dan jika senyawa tersebut tidak larut air maka akan diserap melalui permukaan akar. Penyerapan logam oleh akar dinamakan rizofiltrasi. Logam yang masuk ke dalam sel akar akan masuk ke pembuluh angkut xylem dan diedarkan ke bagian organ tumbuhan lainnya. Agar proses pengangkutan dapat berjalan lebih efektif, pengangkutan logam berat dibantu dengan molekul khelat yang akan berikatan dengan logam, contohnya seperti histidin yang dapat mengikat logam berat Cr (Irhamni *et.al.*, 2017, hlm. 80).

Supaya akumulasi logam dalam tanaman tidak membahayakan tanaman tersebut, tanaman akan melakukan mekanisme detoksifikasi yaitu dengan cara menimbun logam pada bagian tertentu seperti bagian akar, yang mana mekanisme tersebut merupakan salah satu usaha lokalisasi pada tanaman agar kandungan logam berat tidak mengganggu dalam proses metabolisme, dan pada umumnya lokalisasi tersebut dilakukan pada bagian sel vakuola, sehingga logam berat tidak akan mengganggu proses fisiologi tumbuhan, karena apabila logam berat berikatan dengan enzim katalis akan mengganggu reaksi kimia, serta akan menyebabkan kerusakan pada jaringan epidermis, spons dan palisade (Irawanto & Mangkoedihardjo, 2015, hlm. 61).

#### **F. Air Irigasi**

Air merupakan faktor penting dalam proses pertanian, air digunakan untuk pengairan lahan pertanian agar tanaman tetap mendapat cukup air. Ketersediaan air untuk lahan pertanian dapat memanfaatkan air dari sumber air hujan, sungai atau sumber air lainnya, namun pengolahan air sungai yang kurang baik dan ketersediaan air hujan yang tidak selalu mencukupi untuk kebutuhan air di areal pertanian, jika dibiarkan akan membuat kualitas dari hasil pertanian akan menurun.

Oleh karena itu dibutuhkanlah pengolahan irigasi yang baik agar lahan pertanian tetap bisa mendapatkan suplai air yang cukup.

Menurut Ansiru *et.al.*, (2018, hlm 1) irigasi adalah “...suatu usaha yang dilakukan untuk mendatangkan air dari sumbernya guna keperluan pertanian mengalirkan dan membagikan air secara teratur, setelah digunakan dapat pula dibuang kembali melalui saluran pembuang”. Penjelasan lain dipaparkan dalam PPRI No. 20 tahun 2006 pada bab I pasal 1 ayat 3 tentang Irigasi, “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”.

Dari beberapa pengertian diatas, dapat disimpulkan bahwa Irigasi adalah sistem pengairan untuk mengalirkan air dari suatu sumber sebagai suatu usaha untuk mendatangkan, menyediakan, dan mengatur pembuangan dan keperluan air untuk lahan pertanian agar tercukupinya pasokan air bagi tanaman yang dibudidayakan. Tujuan dibuatnya irigasi selain untuk mencukupi kebutuhan pasokan air untuk kebutuhan pertanian, juga berfungsi untuk pengontrol suhu tanah, membantu dalam proses pemupukan, membasahi tanah serta mencegah rusaknya tanaman oleh hama yang berasal dari dalam tanah (Ansiru *et al.*, 2018, hlm. 1).

#### **a. Sumber Air Irigasi**

Berdasarkan sumbernya, air irigasi digolongkan menjadi 3 sumber, yaitu:

##### **1) Air Sungai**

Menurut PMPU No. 39 tahun 1989 tentang Pembagian Wilayah Sungai pada pasal 1 ayat 3, menjelaskan bahwa “Sungai adalah sistem pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi pada kanan dan kirinya serta sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan”. Sumber dari air sungai dapat berasal dari air hujan baik secara langsung masuk ke dalam aliran sungai, atau pun air hujan yang meresap ke dalam tanah dan bergabung ke dalam mata air dan keluar di lokasi hulu sungai.

##### **2) Air Waduk**

Waduk digunakan sebagai tempat penyimpanan air berukuran besar pada permukaan yang digunakan untuk menyimpan kelebihan air di musim hujan dan

digunakan ketika diperlukan untuk berbagai keperluan ketika dibutuhkan. Umayektinisa *et.al.*, (2016, hlm. 60) mengatakan bahwa terbentuknya waduk dikarenakan adanya bendungan yang melintangi sungai. Sungai dan air hujan merupakan beberapa sumber dari air waduk yang ditampung dan dimanfaatkan ketika diperlukan.

### **3) Mata Air**

Menurut Lestari & Suprpto (2017, hlm. 152) memaparkan bahwa mata air bersumber dari air tanah yang ke luar ke permukaan yang hampir tidak dipengaruhi faktor musim yang memiliki kualitasnya sama dengan air dalam tanah. Nantinya mata air yang berada di permukaan tanah akan mengalir melalui alur-alur sungai sebagai air permukaan, yang nantinya akan berkumpul di satu tempat dan dimanfaatkan untuk kebutuhan, seperti pengairan lahan pertanian.

### **4) Air Hujan**

Sumantri, (2017, hlm. 26) memaparkan bahwa air hujan berasal dari proses penyubliman awan/uap air menjadi air murni yang jatuh dari atmosfer ke permukaan bumi. Sebelum air hujan menyentuh permukaan bumi air hujan merupakan air yang bersih tanpa zat pencemar, namun karna terdapat berbagai benda di atmosfer seperti mikroorganisme, gas CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H, N, partikel atau debu logam berat dari hasil buangan industri, dan lain-lain yang menyebabkan air hujan menjadi tercemar. Air hujan dapat dimanfaatkan sebagai sumber pengairan lahan pertanian dengan cara pemanenan air hujan (*rainwatter harvesting*). Wigati *et.al.*, (2022, hlm. 80) menjelaskan bahwa pemanenan air hujan yaitu metode pengumpulan air hujan yang bertujuan agar dapat dijadikan sumber air bersih ketika dibutuhkan, dimana air hujan yang diambil dapat berasal dari atap bangunan, permukaan tanah, jalan, atau perbukitan. Nantinya air hujan akan disalurkan ke kolam air penampungan ataupun waduk dan digunakan ketika dibutuhkan seperti untuk pengairan lahan pertanian.

#### **b. Parameter Kualitas Air**

Parameter dari kualitas air dapat diukur berdasarkan standar kualitas, Standar kualitas air yaitu Baku mutu yang harus dimiliki oleh air yang didasarkan pada parameter fisika, kimia, biologi dan radioaktif yang terkandung dalam air. Menurut

Peraturan Pemerintah RI Nomor 20 tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air dalam bab I pasal 1 ayat 4 dijelaskan bahwa “Baku mutu air adalah batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain yang ada atau harus ada dan atau unsur pencemaran yang ditenggang adanya dalam air pada sumber air tertentu sesuai dengan peruntukannya”. Dalam peraturan yang sama di bab III dijelaskan mengenai penggolongan air menurut peruntukannya yang ditetapkan sebagai berikut:

- Golongan A : Air yang dapat digunakan sebagai air minum secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu;
- Golongan B : Air yang dapat digunakan sebagai air baku air minum;
- Golongan C : Air yang dapat digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan;
- Golongan D : Air yang dapat digunakan untuk keperluan pertanian, dan dapat dimanfaatkan untuk usaha perkotaan, industri, pembangkit listrik tenaga air.

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

### **1) Parameter Fisik**

Menurut Permenkes RI Nomor 492 tahun 2010 menyatakan bahwa parameter fisik air yang dapat diamati terdiri dari bau, warna, total zat padat terlarut (TDS), kekeruhan, rasa dan suhu.

#### **a) Bau dan Rasa**

Kontaminasi suatu perairan dapat terjadi karena adanya zat atau bahan pencemar yang dapat diindikasikan dari bau dan rasa pada air di perairan tersebut. Organoleptik adalah cara yang dapat dilakukan untuk mengecek parameter fisik dari bau dan rasa pada air, dengan organ yang digunakan adalah indra manusia yaitu hidung untuk mencium bau dari air dan lidah untuk merasa rasa dari air. Berdasarkan Permenkes RI No. 492 tahun 2010 untuk bau pada air kadar maksimum yang diperbolehkan adalah tidak berbau dan untuk rasa yaitu tidak berasa.

**b) Warna**

Terkontaminasinya suatu perairan dapat dilihat dari warna perairan tersebut. Bahan organik atau anorganik dalam perairan jika jumlahnya banyak dapat mempengaruhi warna dari perairan tersebut. Warna dalam perairan dapat berubah karena adanya partikel yang terlarut dan tersuspensi. Warna tersebut dapat berasal dari tanin dan asam humat yang terdapat dalam air, dapat berasal dari hasil buangan atau limbah industri sehingga air menjadi berwarna kuning muda sampai coklat kemerahan (Musli & Fretes, 2016, hlm. 60). Warna tersebut disebut sebagai warna tampak yang cenderung sukar di jernihkan jika sudah mengontaminasi perairan.

Selain warna tampak ada juga warna semu yang berasal dari partikel terlarut dalam perairan, contohnya seperti air banjir yang berwarna coklat akibat dari partikel tanah yang terlarut di dalamnya, sehingga warna semu dalam perairan lebih mudah di hilangkan. Berdasarkan PP No.22 tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, untuk warna pada air kelas 2 dan 3 untuk pengairan pertanian kadar maksimum yang diperbolehkan berkisar antara 50-100 Pt-Co Unit. Dan untuk kelas 4 tidak ditentukan.

**c) Kekeruhan**

Kekeruhan pada air disebabkan karena adanya suspensi zat padat dalam air baik itu zat organik atau zat anorganik. Alat untuk mengukur kekeruhan air yaitu *turbidity meter*. *Turbidity meter* dapat mengukur secara otomatis nilai dari kekeruhan air dengan satuan NTU (*Nephelometer Turbidity Units*). Berdasarkan PP No.22 tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, kadar padatan tersuspensi total untuk kelas 2-4 yang bisa digunakan untuk pengairan pertanian, yaitu berkisar antara 50-400 mg/L.

**d) Total zat padat terlarut/ *Total Dissolved Solid* (TDS)**

Zat padat terlarut dalam perairan dapat menurunkan kualitas air, karena ukuran partikel zat padat terlarut sangat kecil bahkan melebihi ukuran partikel pelarutnya sehingga semakin tinggi kandungannya maka akan semakin menghalangi cahaya yang masuk kedalam air. TDS meter adalah alat yang digunakan untuk pengukuran nilai total zat padat terlarut. Berdasarkan PP

No.22 tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, kadar maksimal TDS dalam perairan untuk kelas 2-4 yang dapat digunakan untuk pengairan lahan pertanian berkisar antara 1000-2000 mg/L.

#### **e) Suhu**

Suhu perairan dapat mempengaruhi kualitas dari perairan, sehingga dibutuhkan suhu yang optimal agar organisme di dalamnya dapat hidup dengan baik. Suhu perairan yang melebihi batas normal dapat menandakan jika dalam perairan tersebut terdapat aktivitas dekomposisi bahan organik atau aktivitas kimia yang menyebabkan suhu menjadi naik (Astari rahmita., *et al* , 2009 dalam Amani & Prawiroredjo, 2016, hlm. 50). Alat yang digunakan untuk pengukuran nilai suhu pada air dan lingkungan yaitu termometer gelas alkohol atau termometer analog. Berdasarkan PP No.22 tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, kadar maksimal suhu air untuk kelas 2-4 yang dapat digunakan untuk pengairan lahan pertanian berkisar antara  $\pm 3^{\circ}\text{C}$

## **2) Parameter Kimia**

Parameter kimia ditentukan dari sifat-sifat kimia air, baik dari pH air, kandungan kimia organik dalam air seperti zat organik dan kandungan kimia anorganik salah satunya seperti logam berat.

### **a. Derajat Keasaman (pH)**

Suyasa (2014, hlm. 38) berpendapat bahwa organisme akuatik memiliki kepekaan yang tinggi terhadap perubahan pH dalam air, dimana pH yang optimal bagi organisme akuatik berkisar antara 7,0-8,5. tinggi rendahnya pH dipengaruhi kandungan ditentukan dari tinggi rendahnya kandungan Hidrogen (H) dalam air. Semakin tinggi kadar Hidrogen semakin basa air, dan semakin rendah Hidrogen semakin asam air. Berdasarkan PP No.22 tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, kadar maksimal pH air untuk kelas 2-4 yang dapat digunakan untuk pengairan lahan pertanian berkisar antara 6-9.

### **b. Oksigen Terlarut dalam Air / *Dissolved Oxygen* (DO)**

Proses difusi antara air dan oksigen di udara dapat meningkatkan kadar DO dalam air, selain itu aktivitas dari tumbuhan bawah air dan juga alga yang dapat berfotosintesis dapat meningkatkan kadar DO dalam perairan. Kandungan Oksigen terlarut yang tinggi dalam air menandakan bahwa air tersebut memiliki kualitas yang baik. Setiap makhluk hidup akuatik memerlukan oksigen terlarut yang berperan dalam proses pernafasan dan pembentukan energi bagi tubuh yang digunakan dalam proses tumbuh dan berkembang (Yuliantari *et.al.*, 2021, hlm. 102). Alat yang digunakan untuk mengukur oksigen terlarut dalam air yaitu *Converter Dissolved Oxygen Sensor*.

Berdasarkan PP No.22 tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, kadar minimal DO dalam air yang dapat digunakan untuk pengairan lahan pertanian untuk kelas 2 yaitu 4 mg/L, kelas 3 yaitu 3 mg/L dan kelas 4 yaitu 1 mg/L.

### **G. Tanah**

Tanah merupakan komponen abiotik yang berperan sebagai penyedia berbagai sumber daya penting bagi kelangsungan hidup berbagai organisme. Tanah termasuk kedalam benda alami yang terdiri dari berbagai karakteristik yang menggambarkan pengaruh dari adanya interaksi berbagai faktor pembentuk tanah seperti organisme, vegetasi tumbuhan, topografi, bahan induk tanah, perbedaan rentang waktu dan iklim (Taisa *et.al.*, 2021, hlm. 1 ; Fiantis, 2017, hlm. 7). Tanah juga memiliki peranan teramat penting di bidang pertanian, seperti penyedia unsur hara dan sebagai media tumbuh bagi tanaman. Unsur hara dalam tanah terdapat dalam air tanah dan padatan tanah baik sebagai bahan non organik ataupun bahan organik yang nantinya akan digunakan oleh tumbuhan dalam proses tumbuh dan berkembang melalui proses fotosintesis.

Majid (2009, dalam Mus'af *et.al.*, 2019, hlm. 200) menjelaskan bahwa terdapat tiga fungsi tanah dilihat dari faktor fisik, kimia dan biologi, yaitu sebagai berikut:

...secara fisik berfungsi sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya perakaran penopang tegak tumbuhnya tanaman dan menyuplai kebutuhan air dan udara, secara kimiawi berfungsi sebagai gudang dan penyuplai hara atau

nutrisi (senyawa organik dan anorganik sederhana dan unsur-unsur esensial seperti: N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn, B, Cl), dan secara biologi berfungsi sebagai habitat biota (organisme) yang berpartisipasi aktif dalam penyediaan hara tersebut dan zat-zat aditif (pemacu tumbuh, proteksi) bagi tanaman, yang ketiganya secara integral mampu menunjang produktivitas tanah untuk menghasilkan biomas dan produksi baik tanaman pangan, tanaman sayur-sayuran, tanaman holtikultura, tanaman obat-obatan, industri perkebunan, dan kehutanan.

#### **a. Struktur dan Komposisi Tanah**

Wesley, (2012, hlm. 15) mengatakan bahwa tanah terdiri dari dua sampai tiga bahan penyusun yaitu air, udara dan tanah (padat). Pendapat lain dikemukakan oleh Salam (2020, hlm. 21) bahwa terdapat empat komponen utama tanah yaitu air, padatan, cairan, gas dan mikroorganisme, dengan persentase terbesar yaitu berupa padatan tanah sekitar 50% dan 25% adalah gas dan cairan, untuk organisme sendiri meskipun memiliki peran sangat besar dalam sifat fisika, kimia dan biologi tanah namun volumenya dapat diabaikan. Taisa *et.al.*, (2021, hlm. 1) berpendapat lain, bahwa persentase yang dikandung dalam partikel tanah tersusun dari 45% mineral, 5% bahan organik, 25% air dan 25% udara. Dari beberapa pernyataan tersebut dapat diketahui bahwa terdapat berbagai komponen penyusun tanah dengan presentasi yang berbeda-beda, hal tersebut karena komposisi dan persentase tanah di setiap bagian/wilayah itu berbeda yang ditentukan oleh faktor pembentuknya seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

Tarigan *et.al.*, (2014, hlm. 864) menjelaskan bahwa tanah tersusun atas beberapa lapisan/horizon yang terletak di atas batuan induk atau batuan yang terbentuk dari interaksi faktor pembentuk tanah. Horizon atau lapisan tanah dapat diamati dari penampang paralel tanah yang diambil sedalam 1,5 m dari permukaan tanah. Fiantis, (2017, hlm. 6-7) menjelaskan bahwa terdapat beberapa lapisan horizon, yaitu Horizon O yang tinggi akan kandungan bahan organiknya dan rendah akan fraksi mineralnya, Horizon A yang merupakan horizon mineral yang bersumber dari akumulasi bahan organik dan mineral tanah. Horizon E yang didominasi oleh pasir dan debu serta berwarna pucat/terang karena pada bagian ini telah mengalami eluviasi liat, besi, aluminium dan bahan organik, Horizon B yang berwarna lebih merah dengan struktur tanah gumpalan, prismatic atau tiang, dan

yang terakhir yaitu Horizon C yang terdiri atas bahan induk tanah karena terbentuk akibat adanya pelapukan batuan induk dan mengandung banyak pecahan batuan.

Menurut Wesley (2010, hlm. 1) memaparkan bahwa terbentuknya tanah karena adanya pelapukan fisika dan kimia yang terjadi pada batuan. Pelapukan fisik pada tanah dapat terjadi karena dua jenis, yang pertama terjadi karena adanya pembasahan dan pengeringan yang konstan serta karena adanya pengaruh dari salju dan es, serta yang kedua karena adanya pengikisan oleh air, angin ataupun es, serta pelapukan kimia terjadi karena adanya faktor air, oksigen dan karbon dioksida yang membantu proses pengubahan mineral pada batuan menjadi mineral lain yang memiliki sifat berbeda dari asalnya (Wesley, 2010, hlm. 1-2)

#### **H. Tanaman Sayuran Kangkung Darat (*Ipomoea reptans* Poir)**



**Gambar 2. 2 Sayuran Kangkung darat (*Ipomoea reptans* Poir.)**

**Sumber : [birdbody.blogspot.com](http://birdbody.blogspot.com)**

Tanaman merupakan tumbuhan yang di domestikasi dan dibudidayakan dengan maksud tertentu agar dapat menjadi manfaat bagi mahluk hidup sebagai pemenuh kebutuhan yang memiliki nilai ekonomis atau estetis. Ilmu yang mempelajari tentang pembudidayaan tanaman yaitu Hortikultura. Terdapat berbagai jenis tanaman hortikultura yang dapat dibudidayakan salah satunya yaitu tanaman sayuran atau Olerikultura. Menurut Panjaitan (2017, hlm 1)“Sayuran adalah tanaman hortikultura, yang umumnya mempunyai umur relatif pendek atau kurang dari setahun”. Sedangkan menurut Susilawati (2017, hlm 3)“Sayuran adalah semua jenis tanaman atau bagian dari tanaman yang dapat diolah menjadi makanan”. Sayuran juga merupakan sumber serat, vitamin dan mineral bagi tubuh. (Ichsan *et al.*, 2015, hlm. 31). Dari beberapa pendapat diatas, dapat disimpulkan

bahwa sayuran adalah tanaman budidaya yang memiliki masa tanam yang cukup singkat yang setiap bagiannya dapat diolah, baik itu akar, batang daun maupun bunga dan buahnya sebagai sumber nutrisi bagi tumbuh.

#### **a. Klasifikasi dan Manfaat Kangkung Darat**

Iskandar, (2016, hlm. 247) mengklasifikasikan sayuran Kangkung darat sebagai berikut :

Kerajaan	: Plantae
Subkerajaan	: Tracheobionta
Superdivisi	: Spermatophyta
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Sub Kelas	: Asteridae
Bangsa	: Solanaes
Suku	: Convolvulaceae
Marga	: <i>Ipomoea</i>
Jenis	: <i>Ipomoea reptans</i> Poir.

Kangkung merupakan tanaman berhari netral (Childdres, 2021, hal. 1). Titi *et.al.*, 2014, hlm. 78) memaparkan bahwa tanaman Kangkung berasal dari India dan kemudian menyebar ke Malaysia, Birma, Indonesia, China Selatan, Australia, dan Afrika. Kangkung termasuk sayuran yang sangat populer di Indonesia dan keberadaannya mudah di jumpai di pasaran, bahkan jumlah produksi tanaman Kangkung dari tahun ke tahun terus meningkat. Seperti yang dikutip dari laman Badan Pusat Statistik (2020, hlm. 1), produksi tanaman sayuran Kangkung nasional dari tahun 2017-2020 terus mengalami kenaikan, seperti yang dapat dilihat dari tabel berikut:

**Tabel 2. 1: Data Statistik Produk Tanaman Sayuran Kangkung Nasional**

Tahun	Jumlah (Ton)
2020	312 336,00
2019	295 556,00
2018	289 563,00
2017	276 970,00

Sumber: BPS tahun 2017-2020

Selain rasanya yang enak dan harganya yang murah dan mudah ditemui baik di pasar lokal ataupun pasar modern, kangkung termasuk makanan yang kaya akan nutrisi. Dilansir dari data USDA (2002 dalam Titi *et al.*, 2014, hlm 75-76) dapat diketahui jika dalam sayuran Kangkung mengandung berbagai nutrisi yang baik bagi tubuh, yang dijelaskan sebagai berikut:

Dalam 100 g bagian yang dapat dimakan adalah air 92,5 g, energi 19 kkal, protein 2,6 g, lemak 0,2 g, karbohidrat 3,1 g, serat 2,1 g, kalsium 77 mg, magnesium 71 mg, fosfor 39 mg, besi 1,7 mg, seng 0,2 mg, vitamin A 6.300 IU, thiamin 0,03 mg, riboflavin 0,10 mg, niacin 0,90 mg, asam folat 57 µg, vitamin C 55 mg.

### 1) Morfologi Tanaman Sayuran Kangkung Dadar

Tanaman Kangkung termasuk kedalam tanaman dikotil, sehingga tanaman kangkung memiliki dua keping kotiledon atau daun lembaga dalam bijinya, berakar tunggang, bentuk tulang daun menyirip, memiliki percabangan dengan ukuran batang atas lebih kecil daripada batang bawah, memiliki pembuluh angkut yang letaknya beraturan membentuk lingkaran, serta kelopak dan mahkota bunga berjumlah 5 helai dengan mahkota bunga saling berlekatan. Tanaman Kangkung darat termasuk tanaman yang cenderung tumbuh tegak dan tidak merambat seperti tanaman Kangkung air, contohnya seperti Kangkung darat varietas Sutra yang tidak merambat baik pada fase vegetatif awal ataupun pada fase berbunga, namun ada beberapa varietas Kangkung darat yang merambat pada fase berbunga dan tegak pada fase vegetatif awal, seperti Kangkung darat varietas Mahar (Sofiari, 2009, hlm. 50).

Dilihat dari morfologinya, tanaman Kangkung darat memiliki akar tunggang. Pada tanaman muda akar tumbuh pada bagian ujung batang. dan setelah dewasa sekitar 40 cm, tanaman akan roboh dan menjalar di tanah (Waluyo, 2010, hlm. 26). Kemudian nodus batang yang menyentuh tanah akan tumbuh akar serabut. Batang tanaman Kangkung bersifat *herbaceous*, licin, bernodus, berbentuk bulat panjang

dengan rongga di dalamnya dan berwarna hijau keputihan pada batang muda sampai kuning kemerah-merahan pada batang yang mulai menua (Waluyo, 2010, hlm. 25). Nodus pada batang Kangkung adalah tempat keluarnya akar, tempat melekatnya daun ataupun tempat munculnya tunas lateral yang akan menjadi percabangan baru.

Daun tanaman Kangkung termasuk daun yang tidak lengkap karena hanya terdiri dari daun dan tangkai saja. Waluyo, (2010, hlm. 26) menjelaskan bahwa daun Kangkung darat berbentuk seperti segitiga (*triangulate*) atau lanset (*Lanceolatus*) memanjang dengan ujung daun yang runcing, serta warna daun hijau keputihan dan akan menguning ketika mulai menua. Tepi daun rata, permukaan daun yang halus, serta bertekstur *herbaseus* (tidak terlalu tipis dan tebal yang umum dimiliki tumbuhan semusim). Daun Kangkung darat termasuk jenis daun tunggal dengan bentuk urat daun menyirip (*peninervis*), dan pada bagian punggung daun memiliki warna yang lebih terang daripada muka daun. Pada helai daun terdapat tangkai daun yang panjang yang berfungsi untuk melekatkan daun pada nodus batang. Filotaksi daun pada batang tanaman Kangkung yaitu *alternate*.

Bunga dari tanaman Kangkung darat termasuk bunga yang lengkap karena terdiri dari sepal, petal, stamen dan pistilum/putik. Waluyo, (2010, hlm. 26) menambahkan bahwa bunga tanaman Kangkung darat berbentuk seperti trompet dan ketika mekar berwarna putih atau keungu-unguan, tergantung dari varietasnya. Selain itu tanaman Kangkung termasuk bunga sempurna karena dalam satu bunga terdapat stamen dan pistilum. Bunga Tanaman Kangkung memiliki simetri radial atau *aktinomorp* dengan jumlah petal 5 helai yang saling berlekatan, sepal menempel pada dasar bunga berjumlah 5 helai, dan bakal buah bertipe *inferus/tenggelam*. Jenis perbungaan tanaman Kangkung yaitu majemuk, dengan percabangan *simpodial dikhasium* karna dari ibu tangkai daunnya tumbuh dua cabang perbungaan yang berhadapan dan tiap terminal mengasalkan satu bunga saja serta proses mekarnya bunga dari atas ke bawah atau tengah ke tepi.

Titi *et.al.*, (2014, hlm. 79) menjelaskan bahwa bentuk dari buah kangkung yaitu bulat telur dengan ukuran 10 mm dengan umur yang tidak lama, ketika muda buah berwarna hijau dan akan berubah warna menjadi hitam ketika mulai matang dan di dalam buah tersebut terdapat biji sebanyak 3-4 butir. Steeni, (2005 dalam

Titi *et.al.*, 2014, hlm. 79) menambahkan, bahwa warna dari biji kangkung yaitu coklat atau kehitam-hitaman dengan bentuk bersegi-segi atau tegak bulat.

### **I. Hubungan Logam Berat Kromium (Cr) pada Air Irigasi, Tanah dan Tanaman Sayuran Kangkung**

Air adalah salah satu media pembawa zat hara yang dapat menyuburkan perairan ataupun lingkungan yang dilewatinya, termasuk tanah dan tanaman yang menggunakan air tersebut. Namun selain membawa mineral yang bermanfaat, air juga dapat membawa komponen-komponen pencemar seperti unsur-unsur logam berat ke dalam lingkungan, seperti salah satunya logam berat Kromium. Konsentrasi Kromium yang tinggi dalam perairan dapat membahayakan organisme perairan, karena logam Cr dapat terakumulasi dalam makhluk hidup lain melalui proses rantai makanan. Selain itu berbagai reaksi dalam perairan juga dapat mempengaruhi logam berat Kromium. Seperti yang dijelaskan oleh Palar, (2012, hlm. 138) yang menjelaskan bahwa reaksi pengompleksan dan reaksi redoks dalam perairan dapat membuat logam  $Cr^{6+}$  yang sangat toksik tereduksi menjadi logam  $Cr^{3+}$  yang toksisitasnya lebih rendah, dengan syarat pH perairan adalah asam, dan pada kondisi pH perairan basa  $Cr^{3+}$  akan diendapkan pada dasar perairan.

Pengendapan Cr pada sedimen dapat mengontaminasi tanah di lahan pertanian, begitupun air yang digunakan sebagai sumber irigasi lahan pertanian, jika kedua komponen tersebut sudah terkontaminasi oleh logam berat Cr maka bukan tidak mungkin tanaman sayuran Kangkung yang ditanam pun ikut terkontaminasi melalui proses penyerapan air dan unsur hara oleh akar. Besar kecilnya penyerapan logam Cr oleh tanaman dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik itu dari tanah sendiri, seperti jenis tanah, pH tanah, suhu dan lain-lain, ataupun faktor dari tanaman tersebut.

### **J. Baku Mutu Logam Berat Kromium (Cr) dalam Air Irigasi, Tanah dan Tanaman Sayuran Kangkung**

Berdasarkan UURI No. 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pada bab I pasal 1 ayat 13 dijelaskan bahwa “Baku mutu lingkungan hidup adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen yang ada atau harus ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang

keberadaannya dalam suatu sumber daya tertentu sebagai unsur lingkungan hidup”. Baku mutu lingkungan hidup merupakan standar yang digunakan untuk menentukan kapan suatu lingkungan hidup dikatakan telah tercemar atau kapan suatu buangan limbah dikatakan mencemari. Pada tabel 2.2. dipaparkan mengenai baku mutu logam berat Kromium pada air irigasi, tanah pertanian dan sayuran Kangkung.

**Tabel 2. 2 :Baku Mutu Air Irigasi, Tanah dan Sayuran Kangkung darat**

Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
Air Irigasi <sup>1</sup>	mg/L	1
Tanah <sup>2</sup>	mg/kg	80
Sayuran Kangkung darat <sup>3</sup>	mg/kg	5,5 – 6,5

Sumber: PPRI No. 22 tahun 2022 <sup>1</sup>

ANZEC, 2000 <sup>2</sup>

*China's Maximum Levels for Contaminants in Foods*, 2014 <sup>3</sup>

## **K. Faktor Klimatik Lingkungan dan Hubungannya Dengan Kandungan Logam Berat Kromium (Cr)**

### **1. Faktor Klimatik Lingkungan**

#### **a. Suhu Udara**

Menurut Fadholi (2013, hlm. 14) menjelaskan bahwa suhu udara merupakan ukuran energi kinetik rata-rata dari suatu pergerakan molekul-molekul, sehingga semakin besar kecepatan molekul maka semakin tinggi suhu suatu udara. Derajat Celcius merupakan salah satu satuan skala suhu yang umum digunakan, yang dilambangkan dengan °C. Tinggi rendahnya suhu di permukaan bumi tidak lepas dari peranan matahari sebagai sumber panas bagi permukaan bumi. Dikutip dari laman web ilmugeologi.com, Lestari (2019, hlm. 1) menjelaskan bahwa cahaya matahari yang diterima oleh bumi tidak 100%, namun hanya 41% saja sinar matahari yang dimanfaatkan, sisanya ada yang dipantulkan kembali ke luar angkasa sebanyak 4% dan 49% berada di atmosfer bumi.

Sinar matahari yang memancar ke permukaan bumi menimbulkan terbentuknya energi sebesar 1,94 kalori/menit setiap m<sup>2</sup> seperti sinar ultraviolet, inframerah (Purwantara, 2015, hlm. 43). Serta sinar-sinar lainnya seperti cahaya tampak yang digunakan oleh tumbuhan dalam proses fotosintesis.

## 1) Faktor Yang Mempengaruhi Suhu

Suhu udara di suatu tempat pada permukaan bumi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti:

### a) Keadaan Permukaan Bumi

Daratan dan lautan merupakan dua wilayah yang ada di permukaan bumi dengan sifat yang berbeda satu sama lain, yakni permukaan darat lebih cepat menerima dan melepaskan panas energi dari radiasi matahari ke permukaan bumi, sedangkan permukaan laut lebih lambat. Perbedaan sifat tersebut akan mempengaruhi penyerapan dan pemantulan radiasi matahari yang mempengaruhi perbedaan suhu udara di atasnya (Rahim *et.al.*, 2016, hlm. 75)

### b) Keadaan Awan

Keberadaan awan di atmosfer bumi dapat menghalangi radiasi matahari ke permukaan bumi. Uap air yang terkandung dalam awan akan memancarkan, memantulkan dan menyerap radiasi yang mengenai awan, sehingga hanya sebagian energi dari radiasi matahari yang diterima oleh permukaan bumi (Fadholi, 2013, hlm. 2)

### c) Lamanya Penyinaran Matahari

Lamanya Intensitas cahaya matahari yang diterima suatu daerah akan mempengaruhi terhadap suhu di daerah tersebut, (Rahim *et.al.*, 2016, hlm. 75).

### d) Sudut Datangnya Sinar Matahari

Pagi dan sore hari adalah sudut terkecil sinar matahari mengenai permukaan bumi, sehingga energi dari radiasi matahari tidak terlalu besar yang menyebabkan udara tidak terlalu panas. Semakin besar sudut sinar matahari maka energi dari radiasi akan semakin besar dan udara semakin panas (Lestari, 2019, hlm 1).

## b. Intensitas Cahaya

Matahari adalah sumber cahaya utama di bumi, dan cahaya matahari berperan sebagai sumber energi bagi berbagai proses yang terjadi di permukaan bumi. Tumbuhan adalah salah satu organisme autotrof yang sangat membutuhkan cahaya dalam kelangsungan hidupnya, dimana tumbuhan menggunakan cahaya matahari sebagai salah satu bahan dalam proses pembentukan zat organik melalui proses fotosintesis. Melalui tiga sifat cahaya yang dipancarkan matahari yaitu kualitas

cahaya (panjang gelombang), lamanya penyinaran (panjang hari) dan intensitas cahaya menjadikan cahaya matahari sebagai salah satu faktor yang berperan dalam proses pertumbuhan pada tanaman (Susilawati, *et.al.*, 2016, hlm. 59). “Intensitas cahaya merupakan kuantitas fisik utama yang menunjukkan kekuatan sumber cahaya dalam arah tertentu per satuan unit sudut”(Ghani, 2021, hlm 1).

### **c. Derajat Keasaman (pH) Tanah**

“pH tanah merupakan ukuran jumlah ion hidrogen dalam suatu larutan” (Kusuma *et.al.*, 2014). Ketika larutan memiliki nilai pH yang rendah dinamakan asam dan jika nilai pH nya tinggi dinamakan basa. Derajat Keasaman (pH) tanah merupakan salah satu parameter kimia utama yang sangat berpengaruh pada tanah. Konsentrasi pH tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan pada tanaman. 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.

Dikutip dari laman [buleleng.go.id](http://buleleng.go.id), Menurut Dinas Pertanian Pemkab Buleleng (2021, hlm 1) terdapat tiga jenis pH yang mendasari karakteristik tanah, diantaranya yaitu:

#### **1) pH Netral,**

Artinya pH pada tanah berada pada angka 6,5 – 7,8. pH pada kondisi ini ideal bagi senyawa organik, unsur hara, mineral dan mikroorganisme.

#### **2) pH Asam,**

Tanah gambut biasanya memiliki pH yang rendah karena cenderung memiliki kandungan hidrogen, aluminium dan belerang tinggi. Kondisi pH yang rendah pada tanah akan mempengaruhi penyerapan unsur hara oleh tanaman sehingga tidak optimal.

#### **3) pH Basa**

Tanah di daerah pesisir pantai pada umumnya memiliki pH basa karena banyak mengandung zat kapur, ion magnesium, kalium, kalsium, dan natrium lebih tinggi.

Taisa *et.al.*, 2021, hlm.31) dalam bukunya mengenai kesuburan tanah, mengelompokkan tanah kedalam asam, basa atau netral sebagai berikut:

- 1) 6,5 hingga 7,5 netral
- 2) Lebih dari 7,5 basa
- 3) Kurang dari 6,5 asam, dan kurang dari 5,5 dianggap sangat asam

#### **a. Hubungan Faktor Klimatik Lingkungan Dengan Kandungan Logam Berat Kromium di Lingkungan**

Masuknya logam berat dalam ekosistem pertanian dapat berasal dari alam itu sendiri ataupun dari aktivitas manusia. Penyebab utama tingginya konsentrasi logam berat Kromium dalam lingkungan merupakan akibat dari tingginya aktivitas manusia seperti aktivitas rumah tangga, industri, seperti industri *elektroplating*, tekstil dan penyamakan kulit, dan lain-lain, yang kurang bertanggung jawab dalam mengolah limbah hasil produksi sebelum di buang ke lingkungan alam.

Pencemaran lingkungan tanah pertanian oleh logam berat Kromium adalah salah satu contohnya, tingginya konsentrasi logam berat Cr dalam tanah pertanian dapat menurunkan kualitas tanah. Salam, (2020, hlm. 314) menjelaskan bahwa tingginya konsentrasi logam berat dalam tanah dapat membuat beberapa enzim dalam tanah seperti enzim fosfatase tanah menjadi inaktif, yang berakibat pada terganggunya perombakan bahan organik dalam tanah. Selain itu tingginya kadar logam berat Cr dalam tanah juga dapat menyebabkan logam tersebut terakumulasi oleh tanaman dan menimbulkan dampak negatif pada tanaman budidaya apabila terakumulasi dalam jumlah yang lebih dari ambang batas. Sabaran *et.al.*, (2012, hlm. 38) menjelaskan jika tanaman tercemar oleh logam berat Cr dapat mengganggu pertumbuhan tanaman tersebut.

Akumulasi logam berat yang tinggi dalam tanah pertanian dapat bersumber dari sumber air irigasi pertanian yang telah tercemar oleh bahan-bahan limbah yang mengandung logam berat Cr. Peresapan logam berat Cr pada tanah disebabkan karena beberapa faktor seperti salah satunya pH tanah. pH tanah sangat berpengaruh terhadap besar kecilnya konsentrasi logam dalam tanah, karena ketika pH tanah rendah atau asam, Cr akan terurai dan akan terakumulasi dalam air tanah yang akhirnya akan lebih mudah terserap oleh tanaman melalui serabut akar, sehingga penyerapan logam berat Cr oleh tanaman dapat lebih besar yang berakibat

kandungan logam berat Cr dalam tanah menurun, namun ketika pH tanah tinggi atau basa, logam berat Cr cenderung stabil sehingga sukar terurai sehingga akan berikatan dengan anion membentuk logam organik atau anorganik dalam tanah dan akhirnya mengendap dalam tanah, sehingga kemungkinan logam berat yang diserap oleh tanaman tidak terlalu tinggi, namun akumulasi logam dalam tanah meningkat.

Penyerapan logam berat Cr oleh tanaman tidak dilakukan secara sengaja, namun ikut masuk ketika proses penyerapan air dan unsur hara dalam tanah oleh akar. Tinggi rendahnya penyerapan logam berat oleh tanaman tidak hanya dipengaruhi oleh pH pada tanah, namun juga dipengaruhi oleh suhu lingkungan. Suhu dan intensitas cahaya matahari memiliki keterkaitan, kenaikan intensitas cahaya matahari menyebabkan kenaikan suhu udara, dan sebaliknya penurunan intensitas cahaya matahari menyebabkan penurunan suhu udara.

Intensitas cahaya matahari dan Suhu bagi tanaman berperan penting dalam beberapa proses fisiologinya, seperti berpengaruh terhadap laju fotosintesis, dengan adanya cahaya maka fotosintesis dapat berjalan, dan dengan naiknya suhu karena kenaikan intensitas cahaya dapat meningkatkan laju fotosintesis. Perlu diketahui bahwa suhu optimum tanaman pada umumnya yaitu 40-50°C, suhu tersebut membuat tanaman melakukan proses fotosintesis secara maksimal (Lupitasari *et.al.*, 2020, hlm. 36). Semakin meningkatnya laju fotosintesis, maka akan meningkatkan laju penyerapan komponen fotosintesis seperti air, unsur hara dan CO<sub>2</sub>, peningkatan penyerapan air dan unsur hara oleh tanaman dapat berdampak pada peningkatan akumulasi logam berat Cr semakin cepat dalam tanaman tersebut.

Intensitas cahaya mempengaruhi suhu udara, semakin panas suhu semakin tinggi tanaman membutuhkan air untuk diserap ke dalam jaringan agar tubuh tidak mengalami dehidrasi, semakin banyak logam berat yang terkandung dalam air dan tanah semakin tinggi unsur logam berat terserap oleh tanaman. Tinggi rendahnya pH dalam tanah juga berpengaruh terhadap besarnya konsentrasi logam berat yang diserap. Karena ketika tanah terlalu basa maka unsur logam Cr akan mengendap dalam tanah, namun ketika pH tanah asam, unsur Cr akan larut dalam air tanah dan kemungkinan besar akan terserap masuk lebih banyak ketika unsur tersebut dalam air tanah daripada dalam endapan bersama partikel tanah. Selain itu kenaikan suhu

lingkungan karena naiknya intensitas cahaya juga mempengaruhi konsentrasi dari logam berat. Arief *et.al.*, (2012, hlm. 181) menjelaskan bahwa suhu yang rendah dapat mempermudah logam berat mengendap dalam sedimen sedangkan jika suhu tinggi kelarutan logam berat dalam air akan lebih mudah.

Terdapat baku mutu faktor klimatik fisika dan kimia lingkungan baik itu suhu lingkungan, intensitas cahaya dan pH pada tanah, sehingga dengan adanya baku mutu akan lebih mudah dalam menentukan suatu lingkungan telah rusak atau tercemar serta untuk mengetahui telah terjadi perusakan atau pencemaran lingkungan. Baku mutu faktor klimatik tersebut seperti pada tabel berikut:

**Tabel 2. 3: Baku Mutu Parameter Fisika Dan Parameter Kimia**

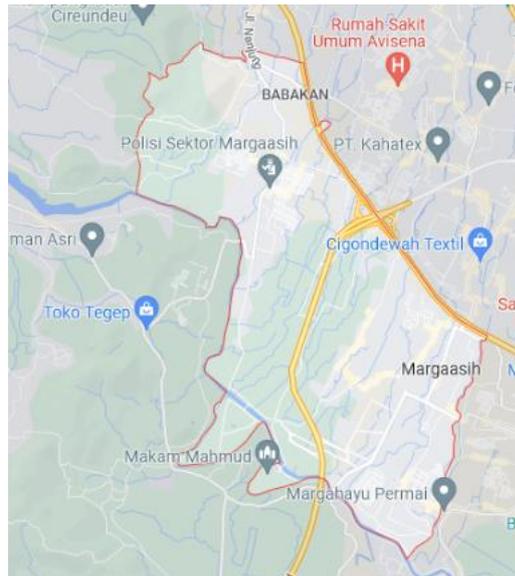
Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
Suhu Lingkungan <sup>1</sup>	°C	20 °C - 30 °C
Intensitas Cahaya <sup>2</sup>	-	4305,56-8611,13
pH Tanah <sup>3</sup>	-	5,5 – 6,5

Sumber: <sup>1</sup> Sutan *et.al.*, 2018 ; <sup>2</sup> Fadhilillah *et.al.*, 2019 ; <sup>3</sup> Sutan *et.al.*, 2018,

#### L. Kecamatan Margaasih

Dikutip dari laman website Kode pos 2022 seluruh Indonesia (2022, hlm 1), diketahui bahwa Kecamatan Margaasih merupakan satu dari 31 kecamatan yang berada di Kabupaten Bandung Provinsi Jawa Barat, yang mana Kecamatan Margaasih ini terbagi menjadi 6 Kelurahan yaitu Cigondewah Hilir, Lagadar, Margaasih, Mekarrahayu, Nanjung dan Rahayu. Menurut koordinator statistik Kecamatan Margaasih (2016, hlm. 1), menyatakan bahwa luas wilayah Kecamatan Margaasih yaitu 16,467 Km<sup>2</sup>, serta secara geografis Kecamatan Margaasih terletak pada 107° 38' - 107° 42' Bujur Timur dan 6° 49' - 6° 54' Lintang Selatan.

Margaasih terletak di tengah cekungan Bandung sehingga topografi tanahnya relatif datar pada bagian tengah dan bagian timur, dan terletak pada ketinggian ±700 mdpl. Berdasarkan buku statistik daerah Kecamatan Margaasih 2016, menurut koordinator statistik Kecamatan Margaasih (2016, hlm, 2) menyatakan bahwa Kecamatan Margaasih berbatasan dengan beberapa wilayah, yaitu sebelah timur berbatasan dengan Kecamatan Margaluyu, sebelah barat berbatasan dengan Kota Cimahi, sebelah selatan berbatasan dengan Kecamatan Kutawaringin dan sebelah utara berbatasan dengan Kota Bandung.



**Gambar 2. 3 Kecamatan Margaasih dilihat dari  
Google Map  
(Sumber: Google.co.id)**

Kelurahan Margaasih adalah satu dari 6 Kelurahan yang terletak di Kecamatan Margaasih Kabupaten Bandung. Dilansir dari website desa Margaasih (Anonim, 2018, hlm. 1), diketahui bahwa luas wilayah Kelurahan Margaasih yaitu 290,435 Ha, serta Kelurahan Margaasih memiliki iklim tropis dengan rata-rata curah hujan per tahun yaitu 2.350 mm, memiliki suhu udara yang berkisar antara 20°-26 °C dan memiliki kelembapan udara yang beragam, yaitu pada musim kemarau dan hujan berkisar antara 70%. Kelurahan Margaasih khususnya di sekitaran Jalan Peuris merupakan lokasi yang cukup banyak digunakan untuk lahan pertanian, baik itu lahan pertanian padi maupun sayuran seperti Sawi hijau, Bayam, Selada dan Kangkung darat.



**Gambar 2. 4 Jalan Peuris Kelurahan Margaasih  
Kabupaten Bandung  
(Sumber: google.co.id)**

Karakteristik dari lahan pertanian sayuran Kangkung sendiri yaitu termasuk kedalam pertanian lahan basah sehingga lahan pertanian sayuran selalu tergenang air meskipun genangan air pada lahan tidak selalu tinggi seperti pada lahan sawah yang ditanami padi. Lahan tergenang air hanya pada periode penyiraman saja, dan genangan air pun tidak sampai merendam tanaman, karena tanaman Kangkung darat di tanam pada bedengan yang sedikit lebih tinggi dari saluran pengairan pada lahan. Sistem pengairan yang dilakukan oleh petani untuk mencukupi kebutuhan air pada lahan sayuran Kangkung darat dilakukan dengan teknik irigasi bergilir (*rotational irrigation*), sehingga pemberian air hanya dilakukan pada periode tertentu saja hingga periode irigasi berikutnya dilakukan. Pemberian air pada lahan sayuran Kangkung darat dilakukan pada pagi dan sore hari dengan cara membuka bedengan yang memisahkan antara lahan dengan sumber air irigasi. Air akan mengalir masuk dan menyebar ke seluruh lahan melalui saluran-saluran irigasi pada lahan. Pengairan akan dihentikan jika lahan terasa sudah cukup tergenang air.



**Gambar 2. 5 Sumber air irigasi yang bersebelahan dengan kebun sayuran Kangkung darat  
Sumber (Dokumen Pribadi)**

Selain itu berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan dengan warga sekitar, yaitu bapak Atep dan bapak Eman (2021), diketahui bahwa sebagian besar lahan pertanian yang digunakan bukanlah lahan pribadi, melainkan lahan yang dimiliki oleh beberapa perusahaan, salah satunya seperti PT. Podomoro, sehingga para petani hanya mengelola lahan dengan sistem bagi hasil. Dari hasil wawancara tersebut juga diketahui bahwa sumber irigasi lahan pertanian di Kecamatan Margaasih bersumber dari daerah Bojong Koneng Kabupaten Bandung yang mengalir sampai lahan pertanian di daerah Margaasih. Hasil dari pertanian tersebut nantinya akan didistribusikan ke beberapa pasar, seperti pasar induk Caringin yang

berlokas di jalan Soekarno-Hatta Kecamatan Babakan Ciparay, pasar Ciroyom yang berlokasi di jalan Ciroyom Kecamatan Andir, ataupun sayuran tersebut didistribusikan ke warung-warung yang berada di daerah sekitar di Kecamatan Margaasih untuk diperjual belikan.

### **M. Instrumen AAS Sebagai Alat Uji Kandungan Logam Berat Cr**

Spektrofotometri serapan atom (SSA) atau *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) merupakan salah satu metode analisis unsur logam ataupun metalodi dalam suatu bahan yang memiliki kepekaan dan ketelitian yang tinggi. Purnama *et.al.*, (2018, hlm. 261) memaparkan bahwa *Atomic Absorption Spectrophotometry* adalah instrumen yang digunakan sebagai metode analisis yang didasarkan pada penyerapan energi radiasi oleh atom-atom bebas dalam menentukan kadar unsur-unsur metaloid dan logam. Totowaki (2008 dalam Yulia *et.al.*, 2021, hlm. 22) memaparkan mengenai prinsip dasar dari metode analisis AAS sebagai berikut:

Prinsip dari analisis dengan AAS ini didasarkan proses penyerapan energi oleh atom-atom yang berada pada tingkat tenaga dasar (ground state). Penyerapan energi tersebut akan mengakibatkan tereksitasinya elektron dalam kulit atom ke tingkat tenaga yang lebih tinggi (exited state). Akibat dari proses penyerapan radiasi tersebut elektron dari atom-atom bebas bereksitasi ini tidak stabil dan akan kembali ke keadaan semula disertai dengan memancarkan energi radiasi dengan panjang gelombang tertentu dan karakteristik untuk setiap unsur.

Gandjar dan Rohman (2007 dalam Dewi *et.al.*, 2021, hlm. 16) memaparkan beberapa kelebihan dari penggunaan AAS, yaitu sebagai berikut:

Spektrofotometer serapan atom merupakan teknik analisis kuantitatif dari unsur-unsur yang pemakaiannya sangat luas di berbagai bidang karena prosedurnya selektif, spesifik, biaya analisisnya relatif murah, sensitivitasnya tinggi (ppm-ppb), dapat dengan mudah membuat matriks yang sesuai dengan standar, waktu analisis sangat cepat dan mudah dilakukan.

Sudjadi (2007 dalam Yusuf *et.al.*, 2016, hlm. 59) memaparkan bahwa metode analisis menggunakan AAS tidak dipengaruhi bentuk molekul dari logam dalam sampel ketika menentukan kadar total unsur logam yang dikandungnya, serta dalam menganalisis kadar suatu logam, AAS memiliki deteksi kepekaan yang tinggi yaitu kurang dari 1 ppm. Sampel yang dianalisis dapat berbentuk padat, larutan maupun gas. Dan agar sampel dapat dianalisis dengan AAS, sampel harus dalam bentuk

larutan yang jernih atau berwarna serta homogen, dengan minimal volume sampel yang akan dianalisis yaitu 0,5 mL. Pramudita (dalam Purnama *et.al.*, 2018, hlm. 261) memaparkan bagaimana mekanisme kerja dari AAS, yakni:

Cara kerja spektrofotometri serapan atom adalah berdasarkan atas penguapan larutan sampel. Kemudian logam yang terkandung di dalamnya diubah menjadi atom bebas. Atom tersebut mengabsorpsi radiasi dari sumber cahaya yang dipancarkan dari lampu katoda yang mengandung unsure yang akan ditentukan. Banyaknya penyerapan radiasi kemudian diukur pada panjang gelombang tertentu yang akan memberikan penyerapan pada panjang gelombang maksimum. Penentuan panjang gelombang maksimum perlu dilakukan untuk mengetahui dimana terjadi absorpsi maksimum..

Sebelum dilakukannya uji kadar logam pada suatu sampel dengan menggunakan AAS, terlebih dahulu sampel harus dilakukan pendestruksian. Asmorowati *et.al.*, (2020, hlm. 170) mengatakan “Destruksi merupakan suatu perlakuan untuk melarutkan atau mengubah sampel menjadi bentuk materi yang dapat diukur sehingga kandungan unsur-unsur di dalamnya dapat dianalisis”. Menurut Murtina *et.al.*, (2017, hlm. 2) Tujuan dari destruksi ini yaitu untuk menghilangkan/memisahkan kandungan ion lain yang terdapat dalam sampel sebelum dilakukannya analisis, sehingga kesalahan pada saat menganalisis dapat diminimalisir. Terdapat dua jenis destruksi, yaitu destruksi kering dan destruksi basah. Kristianingrum (2012, hlm. 197) menjelaskan bahwa destruksi basah yaitu pengoksidasian sampel dengan oksidator yang sebelumnya sampel terlebih dahulu dilakukan perombakan oleh pelarut asam kuat baik tunggal ataupun ganda seperti asam klorida, asam nitrat, asam perklorat, dan asam sulfat, sedangkan destruksi kering yaitu pengabuan sampel di dalam *muffle furnace* dengan suhu tertentu antara 400-800°C yang tergantung dari sampel yang akan dianalisis, namun sebelumnya sampel terlebih dahulu dilakukan perombakan dari logam organik menjadi logam anorganik.

## **N. Hasil Penelitian Terdahulu**

Penelitian terdahulu berfungsi memberikan gambaran dalam penelitian yang dilakukan. Adapun beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan diantaranya:

**Tabel 2. 4: Penelitian Terdahulu**

<b>Artikel jurnal Pertama</b>	
<b>Peneliti</b>	: M. Yusuf, Kiki Nurtjahja dan Rosliana Lubis
<b>Tahun</b>	: 2016
<b>Judul</b>	: Analisis Kandungan Logam Pb , Cu , Cd Dan Zn Pada Sayuran Sawi , Kangkung dan Bayam di Areal Pertanian dan Industri Desa Paya Rumput Titipapan Medan
<b>Tempat Penelitian</b>	: Desa PayaRumput Titi Papan Medan
<b>Metode</b>	: Metode yang digunakan yaitu deskriptif analisis kuantitatif, : Pengambilan sampel menggunakan teknik <i>simple random sampling</i> : Subjek yang diteliti yaitu bayam, kangkung dan sawi : Objek yang diteliti Pb , Cu , Cd dan Zn : Analisis sampel menggunakan AAS
<b>Hasil Penelitian</b>	: Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa ketiga sampel yang diteliti mengandung 3 dari 4 logam berat yang melebihi nilai ambang batas yang telah dianjurkan. Pb, Cd dan Zn yang terakumulasi dalam ketiga sampel sayuran telah melebihi nilai ambang batas sedangkan Cu yang terakumulasi dalam ketiga sampel masih di bawah nilai baku mutu
<b>Persamaan</b>	: Metode menggunakan deskriptif analis kuantitatif dan analisis sampel menggunakan AAS : Meskipun berbeda wilayah namun kriteria lokasi sama yaitu wilayah pertanian yang letaknya dekat dengan areal industri : Salah satu dari ketiga subjek yang diteliti memiliki kesamaan yaitu sayuran Kangkung
<b>Perbedaan</b>	: Teknik pengambilan sampel dengan <i>simple random sampling</i> : Objek yang diteliti yaitu Pb, Cd, Cu dan Zn : Dua dari tiga Subjek yang diteliti berbeda yaitu Sawi, dan Bayam
<b>Artikel jurnal Kedua</b>	
<b>Peneliti</b>	: Ing Mayfa Br Situmorang dan Dimas Frananta Simatupang
<b>Tahun</b>	: 2021
<b>Judul</b>	: Analisis Logam Berat Pada Sayuran Yang Ditanami di Pinggir Jalan Bekasi Utara
<b>Tempat Penelitian</b>	: STIKes Prima Indonesia Kecamatan Babelan, Bekasi Utara.
<b>Metode</b>	: Metode analisis kuantitatif : Subjek yang diteliti yaitu Bayam hijau, Bayam Merah dan Kangkung, : Objek yang diteliti Pb, Cr, As, dan Cu serta : Analisis sampel menggunakan AAS
<b>Hasil Penelitian</b>	: Dari hasil penelitian terdahulu diketahui bahwa dari ketiga subjek yang di analisis kandungan logam beratnya, kangkung mengandung Pb dan Cr yang melebihi baku mutu, sedangkan bayam merah dan hijau hanya mengandung satu logam berat saja yaitu Cr yang telah melebihi nilai baku mutu, sedangkan As, dan Cu pada ketiga sampel konsentrasinya masih di bawah baku mutu.
<b>Persamaan</b>	: Metode yang digunakan yaitu analisis Kuantitatif : Analisis sampel menggunakan AAS

	: Salah satu subjek yang diteliti memiliki kesamaan yaitu sayuran Kangkung : Salah satu objek yang diteliti memiliki kesamaan yaitu Logam berat Cr
<b>Perbedaan</b>	: Lokasi pengambilan sampel sayuran berbeda yaitu di pinggir jalan raya : Tiga dari empat objek yang diteliti berbeda yaitu Pb, Cu dan As : Dua dari tiga subjek yang diteliti berbeda yaitu Bayam hijau dan Bayam Merah.
<b>Artikel Jurnal ke Tiga</b>	
<b>Peneliti</b>	: Sari Mukti Rohmawati, Sutarno dan Mujiyo
<b>Tahun</b>	: 2017
<b>Judul</b>	: Hubungan Jumlah Logam Kromium ( Cr ) Pada Air Irigasi, Tanah Sawah dan Gabah di Kawasan Industri di Kecamatan Kebakkramat Kabupaten Karanganyar
<b>Tempat Penelitian</b>	: Kawasan Industri di Kecamatan Kebakkramat Kabupaten Karanganyar
<b>Metode</b>	: Metode penelitian Deskriptif kuantitatif : Teknik pengambilan sampel <i>prposive sampling</i> : Analisis sampel menggunakan AAS : Subjek penelitian yaitu air irigasi, tanah sawah dan gabah : Objek penelitian yaitu Logam berat Kromium
<b>Hasil Penelitian</b>	: Dari hasil penelitian terdahulu dapat diketahui bahwa kandungan logam Cr pada air sawah, air masuk, tanah sawah dan gabah tidak saling berkorelasi. Karena kandungan logam Cr pada air masuk dan air sawah lebih rendah dibanding dengan kandungan logam kromium pada tanah sawah.
<b>Persamaan</b>	: Metode penelitian Deskriptif kuantitatif : Teknik pengambilan sampel <i>prposive sampling</i> : Analisis sampel menggunakan AAS : Objek penelitian yaitu Logam berat Kromium : Dua dari subjek yang diteliti terdapat persamaan yaitu tanah sawah dan air irigasi.
<b>Perbedaan</b>	: Satu dari tiga subjek yang diteliti terdapat perbedaan yaitu gabah
<b>Artikel Jurnal ke Empat</b>	
<b>Peneliti</b>	: Boris Marselius Sevento Laoli, Kisworo dan Djoko Raharjo.
<b>Tahun</b>	: 2021
<b>Judul</b>	: Akumulasi Pencemar Kromium ( Cr ) Pada Tanaman Padi di Sepanjang Kawasan Aliran Sungai Opak, Kabupaten Bantul
<b>Tempat Penelitian</b>	: Sepanjang Kawasan Aliran Sungai Opak, Kabupaten Bantul yang dibagi menjadi 6 stasiun.
<b>Metode</b>	: Teknik pengambilan sampel <i>purposif random sampling</i> : Analisis sampel menggunakan AAS : Subjek penelitian yaitu air, sedimen, padi (akar, batang dan bulir) : Objek penelitian yaitu Logam berat Kromium
<b>Hasil Penelitian</b>	: Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa dari ketujuh sampel yang diteliti, distribusi logam berat Cr paling tinggi terdapat pada padi yaitu 2,470 ppm, dan pada sedimen yaitu 1,161 ppm dan pada air irigasi distribusi Cr paling rendah yaitu 0,235 ppm. Pada bagian tanaman padi seperti akar, batang, bulir dan daun secara berturut-turut distribusi Cr tertinggi terdapat pada bagian bulir yaitu 4,971- 7,731 ppm, kemudian pada bagian daun yaitu

	1,146-2,031 ppm, pada akar 0,768-2,553 ppm, dan terakhir pada bagian batang ,830-1,394 ppm.
<b>Persamaan</b>	: Teknik pengambilan sampel <i>purposif random sampling</i> : Analisis sampel menggunakan AAS : Terdapat persamaan terhadap subjek yang diteliti yaitu pada air irigasi : Terdapat persamaan terhadap objek yang diteliti yaitu pada logam berat Kromium
<b>Perbedaan</b>	: Enam dari tujuh subjek yang diteliti berbeda, seperti padi (bulir, daun, batang dan akar) dan sedimen : Lokasi penelitian Sepanjang Kawasan Aliran Sungai Opak, Kabupaten Bantul

Beberapa penelitian telah dilakukan sebelumnya yang berkaitan dengan analisis dan identifikasi logam berat pada air irigasi, tanah dan sayuran berdasarkan tabel 2.1 diatas sebagai berikut:

1. Penelitian terdahulu yang dilaksanakan oleh M. Yusuf, Kiki Nurtjahja, dan Rosliana Lubis pada tahun 2016 dengan judul “Analisis Kandungan Logam Pb, Cu, Cd Dan Zn Pada Sayuran Sawi, Kangkung Dan Bayam Di Areal Pertanian Dan Industri Desa Paya Rumput Titipapan Medan”. Hasil dari penelitian tersebut diketahui bahwa kandungan logam Pb pada sampel Kangkung 5 mg/kg dan Bayam 6 mg/kg sudah tidak aman dikonsumsi karena melebihi batas maksimum yang telah ditetapkan oleh Dit Jend POM yaitu 2,0 mg/kg, sedangkan pada sampel Sawi 2 mg/kg masih aman untuk dikonsumsi karena masih dalam batas yang sudah ditetapkan. Untuk kandungan Logam Berat Cu pada ketiga sayuran masih aman untuk dikonsumsi, karena tidak melebihi batas maksimal yang ditetapkan Dit Jen POM yaitu 36 mg/kg, kadar logam berat yang dikandung pada ketiga sampel sayuran tersebut sama yaitu 1 mg/kg. Untuk kandungan logam berat Cd pada ketiga sampel yaitu Sawi 2 mg/kg, Kangkung 3 mg/kg dan Bayam 3 mg/kg, sudah melebihi batas maksimal logam berat menurut Dit Jen POM yaitu 0,2 mg/kg sehingga tidak aman untuk dikonsumsi. Dan untuk kandungan Logam Zn menurut Dit Jen POM ambang batas maksimal dari logam tersebut yaitu 40 mg/kg. Sampel sayuran Kangkung 82 mg/kg dan Bayam 53 mg/kg sudah melebihi ambang batas maksimum, dan untuk sampel sayuran Sawi 26 mg/kg masih dibawah ambang batas maksimum sehingga aman untuk dikonsumsi. Logam-logam berat tersebut akan aman untuk dikonsumsi apabila kadarnya kurang dari ambang batas yang telah ditentukan,

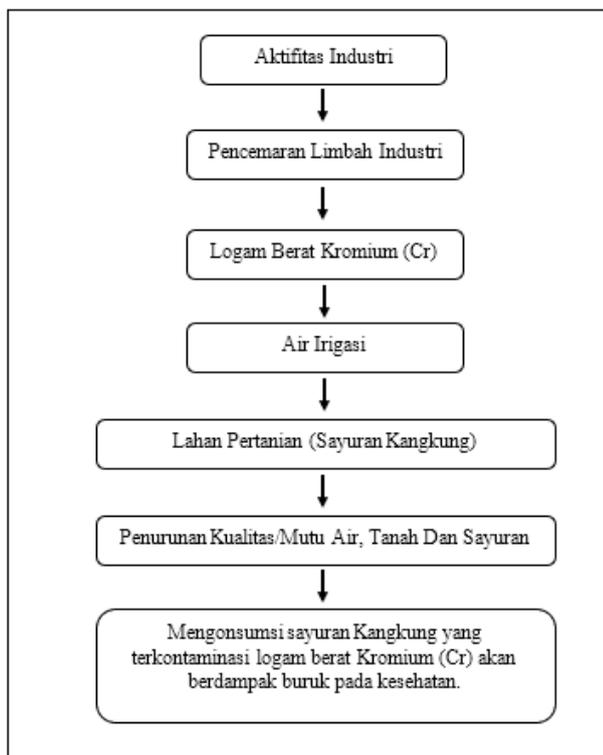
namun apabila melebihi, konsumsi jangka panjang sayuran tersebut akan berdampak pada kesehatan tubuh.

2. Penelitian yang hampir sama juga dilakukan oleh Ing Mayfa, dan Dimas Pranata Simatupang pada tahun 2021 dengan judul “Analisis Logam Berat Pada Sayuran Yang Ditanami Di Pinggir Jalan Bekasi Utara”. Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa kandungan logam berat yang terdapat pada sampel sayuran Kangkung yaitu Pb, dan Cr, dengan konsentrasi yang paling tinggi adalah Pb yaitu 81,938 mg/kg. Pada sampel sayuran Bayam hijau hanya terkandung logam Cr dengan konsentrasi 33,24 mg/kg. Pada sampel sayuran Bayam merah juga hanya terkandung logam Cr dengan Konsentrasi 22,17 mg/kg. Kontaminasi pada sampel sayuran berasal dari limbah industri, seperti bengkel perbaikan bodi mobil dan juga berasal dari asap kendaraan bermotor. Efek paparan logam Cr dan Pb dalam tumbuh dalam jumlah besar dan dalam waktu yang lama dapat menyebabkan berbagai gangguan didalam tubuh, seperti menyebabkan kerusakan DNA, penurunan libido dan kesuburan, keguguran, dll.
3. Penelitian lain yang melibatkan analisis logam berat Kromium (Cr) yaitu dilakukan oleh Sari Mukti Rohmawati, Sutarno dan Mujiyo pada tahun 2017 dengan judul Hubungan Jumlah Logam Kromium ( Cr ) Pada Air Irigasi, Tanah Sawah dan Gabah di Kawasan Industri di Kecamatan Kebakkramat Kabupaten Karanganyar. Dari hasil penelitiannya diketahui bahwa kandungan logam Cr pada air sawah, air masuk, tanah sawah dan gabah tidak saling berkorelasi. Karena kandungan logam Cr pada air masuk dan air sawah lebih rendah dibanding dengan kandungan logam kromium pada tanah sawah. Kandungan Cr yang rendah dalam air dapat disebabkan oleh berbagai faktor, baik dari kondisi pH air, DO air, pengolahan limbah logam berat yang benar sebelum dibuang ke lingkungan. Tinginya logam berat dalam tanah sawah dapat disebabkan oleh logam berat Cr yang mengendap dan terakumulasi dalam tanah sawah. Dan rendahnya Cr dalam gabah karena unsur Cr yang tidak tersedia dalam tanah karena kemungkinan terjebak dalam koloid tanah, ini membuat kelarutan logam Cr menurun.

4. Penelitian yang berkaitan dengan logam berat Kromium juga dilakukan oleh Boris Marselius Sevento Laoli, Kisworo dan Djoko Raharjo. Pada tahun 2021 dengan judul Akumulasi Pencemar Kromium ( Cr ) Pada Tanaman Padi di Sepanjang Kawasan Aliran Sungai Opak, Kabupaten Bantul. Dari hasil penelitiannya diketahui bahwa dari ketujuh sampel yang diteliti, distribusi logam berat Cr paling tinggi terdapat pada padi yaitu 2,470 ppm, dan pada sedimen yaitu 1,161 ppm dan pada air irigasi distribusi Cr paling rendah yaitu 0,235 ppm. Pada bagian tanaman padi seperti akar, batang, bulir dan daun secara berturut-turut distribusi Cr tertinggi terdapat pada bagian bulir yaitu 4,971- 7,731 ppm, kemudian pada bagian daun yaitu 1,146-2,031 ppm, pada akar 0,768-2,553 ppm, dan terakhir pada bagian batang ,830-1,394 ppm. Yang menyebabkan tingginya akumulasi logam berat Cr pada tanaman Padi dibanding pada sedimen dan air irigasi dapat disebabkan karena terjadinya bioakumulasi pada tanah, yang mana tanaman padi menyerap logam berat Cr pada tanah yang telah lama mengendap. Sehingga konsentrasi logam Cr pada sedimen cenderung lebih rendah.

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 keempat penelitian tersebut memiliki korelasi yang cukup relevan dengan penelitian yang akan dilakukan oleh penulis. Relevansi tersebut diantaranya seperti metode yang dipakai. Selain itu variabel-variabel penelitian memiliki relevansi yang cukup erat yakni sama-sama mengidentifikasi kandungan logam berat yang ada pada areal pertanian seperti air irigasi, tanah dan sayuran.

## O. Kerangka Pemikiran



**Gambar 2. 6 Kerangka Pemikiran**

**(Sumber: Dokumen Pribadi)**

Pesatnya pertumbuhan industri di Indonesia membawa perubahan besar terhadap kehidupan. Perubahan-perubahan yang dihasilkan dari adanya industri dapat bersifat positif dan juga dapat bersifat negatif. Dampak negatif yang ditimbulkan oleh aktivitas industri adalah hal yang tidak diinginkan, karena dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan yang berdampak pada menurunnya kualitas hidup. Dampak negatif dari kegiatan industri adalah pencemaran lingkungan oleh limbah yang merupakan produk sampingan dari kegiatan industri. Limbah hasil dari aktivitas industri dapat berwujud gas, padat maupun cair sehingga dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan, baik itu udara, perairan ataupun tanah.

Menurut Putra, (2016, hlm. 134-135) meskipun secara kuantitas limbah industri lebih sedikit dibanding limbah domestik, namun berdasarkan kajian, limbah industri lah yang lebih berbahaya dibanding limbah domestik ketika mencemari suatu perairan. Karena, Martini *et.al.*, (2020, hlm. 27) memaparkan

bahwa limbah cair industri memiliki kandungan polutan yang beragam, seperti salah satunya yaitu logam berat yang dapat mencemari perairan. Menurut Pesulima *et.al.*, (2018, hlm. 56) menjelaskan bahwa secara spesifik gugus logam berat yang dikandung dalam perairan dapat bersumber dari industri tekstil, cat/tinta warna, pelapisan logam, bahan agro kimia dan lain-lain. Seperti halnya dengan yang terjadi di daerah pertanian sayuran di Kecamatan Margaasih Kabupaten Bandung, di lokasi tersebut masih cukup banyak lahan pertanian, seperti pertanian sayuran Kangkung darat (*Ipomea reptans* Poir).

Dalam suatu ekosistem pertanian, air adalah komponen abiotik yang memiliki peranan vital bagi kelangsungan pertanian, namun dengan tercemarnya lingkungan perairan oleh limbah industri yang mengandung logam berat Kromium akan berpengaruh terhadap komponen ekosistem pertanian yang lain, terutama terhadap komponen biotik salah satunya tanaman sayuran Kangkung. Akumulasi logam berat Kromium dalam perairan dapat terlarut dan tersuspensi dengan air sehingga menyebabkan pencemaran air, yang berimplikasi pada biota air, ataupun logam berat tersebut dapat mengendap dalam air yang akhirnya terakumulasi dalam sedimen dan mengontaminasi tanah, yang pada akhirnya akan terakumulasi pada jaringan tanaman Kangkung baik itu pada akar, batang ataupun daunnya melalui proses penyerapan unsur hara dalam tanah.

Jika hal tersebut dibiarkan, konsentrasi logam berat dalam sayuran Kangkung akan terus meningkat, dan jika sampai dikonsumsi oleh manusia akan berdampak buruk bagi kesehatan. Apabila dikonsumsi dalam konsentrasi yang tinggi, logam berat kromium dapat menyebabkan keracunan akut, dan apabila dikonsumsi dalam jumlah sedikit namun dalam jangka waktu lama akan menyebabkan keracunan kronis. Seperti yang dipaparkan oleh Medeiros *et.al* (dalam Figueirôa *et.al.*, 2021) ia memaparkan bahwa kromium dapat menyebabkan maag, iritasi pernafasan, kerusakan kornea, muntah, masalah pencernaan, hematologi, serta kanker.

#### **P. Keterkaitan Hasil Penelitian dengan Pembelajaran Biologi**

Dalam penelitian ini yang berjudul “Uji Kandungan Logam Berat Kromium (Cr) Pada Air Irigasi Dan Sayuran Kangkung Di Kawasan Industri Kecamatan

Margaasih Kabupaten Bandung”, mengkaji mengenai permasalahan pencemaran di lingkungan pertanian baik pada air irigasi sebagai sumber pengairan lahan pertanian, tanah sebagai media tanam dan juga sayuran Kangkung darat yang memiliki peran utama sebagai produk pangan dari hasil pertanian, selain itu penelitian ini didukung dengan data-data mengenai faktor klimatik lingkungan berupa kondisi fisika dan kimia lingkungan pertanian itu sendiri, seperti intensitas cahaya, suhu udara dan pH pada tanah.

Hasil dari penelitian ini memiliki keterkaitan dengan dunia pendidikan terkhusus pada pembelajaran di sekolah dalam mata pelajaran Biologi, karena jika ditinjau dari permasalahannya yaitu mengenai pencemaran lingkungan, penelitian ini berkaitan dengan salah satu Kompetensi Dasar (KD) dalam Kurikulum 2013 pada jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA) kelas X Semester II dengan bahasan materi mengenai Perubahan dan Pelestarian Lingkungan Hidup. Materi tersebut dijabarkan dalam KD 3.11 yaitu “Menganalisis data perubahan lingkungan, penyebab, dan dampaknya bagi kehidupan” dan KD 4.11 yaitu “Merumuskan gagasan pemecahan masalah perubahan lingkungan yang terjadi di lingkungan sekitar”. Oleh karena itu data hasil dari penelitian ini relevan dan dapat dijadikan sebagai rujukan dalam menunjang pembelajaran Biologi di sekolah pada jenjang SMA kelas X.