

## **BAB 2**

### **TINJAUAN TEORETIS**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

##### **2.1.1 Keterampilan Argumentasi Ilmiah**

###### **a. Pengertian Argumentasi dan Argumentasi Ilmiah**

“Argumentasi berasal dari kata argumen, menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, argumen adalah alasan yang dapat dipakai untuk memperkuat atau menolak suatu pendapat, pendirian atau gagasan” (Arfiandy et al., 2021). Faize (dalam Rahayu et al., 2020), menyatakan bahwa argumentasi adalah sebuah proses diskursif atau yang melibatkan penalaran untuk membuat klaim, memberikan bukti yang mendukung klaim tersebut, dan mengkritisnya. Astira et al. (2019), mengungkapkan bahwa kualitas argumentasi yang baik adalah tidak hanya memberikan klaim semata, melainkan menyertakan bukti dan alasan yang menghubungkan klaim dengan bukti tersebut. Selaras dengan pernyataan Ramli et al. (2017), argumen yang berbasis bukti untuk menghasilkan pengetahuan yang melibatkan koordinasi data, klaim, dan bukti, dinamakan sebagai argumentasi ilmiah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa argumentasi ilmiah adalah suatu kegiatan yang melibatkan penalaran untuk membuat atau menanggapi suatu klaim yang didukung dengan bukti atau fakta ilmiah serta alasan yang menghubungkan bukti dengan klaim tersebut.

Berargumentasi secara ilmiah bukanlah kegiatan yang mudah, melainkan membutuhkan keterampilan berpikir tingkat tinggi dalam melakukannya. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sumarni et al. (dalam Faiqoh et al., 2018) bahwa, “Keterampilan argumentasi digunakan oleh seseorang untuk menganalisis informasi mengenai suatu topik, kemudian hasil analisis dikomunikasikan kepada orang lain, dengan demikian penggunaan argumentasi dalam pembelajaran sains adalah bagian dari pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi”.

###### **b. Urgensi Keterampilan Argumentasi dalam Kehidupan Masyarakat**

Bagaimanapun, kemampuan berargumentasi ilmiah semestinya dimiliki oleh setiap orang. Tidak hanya digunakan dalam pembelajaran sains, melainkan

penting juga diterapkan dalam kegiatan sehari-hari. Karena kegiatan berargumentasi berkaitan dengan ketepatan seseorang dalam mengelola suatu permasalahan atau informasi untuk diyakini oleh pribadi, juga sebagai sarana untuk meyakinkan informasi tersebut kepada orang lain. Selaras dengan pernyataan yang diutarakan oleh Roviati & Widodo (2019), bahwa argumen berguna dalam memutuskan suatu keyakinan dengan cara menguji argumen orang lain dan mengembangkan argumen pribadi.

Hal serupa juga diutarakan oleh Irwansyah & Munasiah (2018), bahwa argumentasi adalah suatu bentuk retorika untuk memengaruhi sikap dan pendapat orang lain agar sesuai dengan apa yang diutarakan oleh pemberi argumen tersebut. Selain itu, menurut Inch et al. (dalam Ekanara et al., 2018), mengatakan bahwa keterampilan argumentasi juga dapat berguna untuk membantu orang lain memahami perbedaan pandangan, mencari ide-ide atau solusi pemecahan masalah. Dengan demikian, argumentasi yang disampaikan harus menyajikan fakta-fakta untuk mampu meyakinkan suatu pendapat tertentu benar atau tidak.

Jika suatu argumen tanpa disertai bukti yang kredibel menyebar dan memengaruhi orang lain, tentunya akan sangat berbahaya. Karena menimbulkan terjadinya misinformasi atau bahkan maraknya berita palsu (hoax). Mengingat, di era digital ini yang mana informasi dapat dengan mudahnya terakses ke seluruh penjuru dunia, memungkinkan informasi yang keliru tersebut dengan mudah pula meluas di kalangan masyarakat. An'ars et al. (2022), menyatakan bahwa, "Maraknya penyebaran berita bohong (hoax) merupakan salah satu contoh kurangnya pemahaman masyarakat terhadap cara menyaring dan menerima informasi. Setiap argumen yang bahkan tidak dilandaskan pada fakta sosial maupun sejarah dapat diterima begitu saja hanya karena suatu artikel telah tersebar luas di media sosial".

Hal tersebut semakin meyakinkan bahwa keterampilan argumentasi sangat penting dimiliki oleh masyarakat. Masih menurut Irwansyah & Munasiah (2018), yang menyatakan bahwa, "Argumentasi merupakan hal yang paling pokok/mendasar dalam ilmu pengetahuan. Dalam dunia ilmu pengetahuan, argumentasi merupakan usaha untuk mengajukan bukti-bukti atau kemungkinan-

kemungkinan yang mendasari diambilnya sikap atau pendapat mengenai suatu hal”. Sikap atau pendapat yang dimaksud di sini tidak hanya menyangkut kegiatan akademik semata, melainkan diterapkan juga dalam kehidupan sehari-hari, seperti halnya dalam menanggapi suatu pendapat atau informasi yang terdapat di media sosial, atau sumber lainnya.

### **c. Gambaran Umum Keterampilan Argumentasi pada Siswa Sekolah Menengah**

Puspitawati & Yakub (2020), menyatakan bahwa keterampilan argumentasi masih jarang digunakan dalam pembelajaran, padahal keterampilan ini sangat penting untuk proses perkembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi pada siswa. Bukti lain berdasarkan studi pendahuluan pada penelitian yang dilakukan oleh Farida et al. (2018) di salah satu SMP di kota Bandar Lampung, menyatakan bahwa 54% siswa tidak memiliki pengetahuan tentang keterampilan argumentasi, 31% siswa menyatakan belum pernah berpendapat di depan kelas, 38% siswa tidak merasa percaya diri saat berpendapat di depan kelas, dan 74% siswa tidak memiliki kesadaran tentang pentingnya memiliki keterampilan argumentasi.

Pada pernyataan berikutnya, bahwa masih banyak siswa yang mengaku dalam berpendapat belum bisa meyakinkan orang lain untuk menerima pendapatnya dan belum memiliki alasan yang kuat disertai data sebagai penguat alasannya. Hal ini menunjukkan bahwa pemberdayaan keterampilan argumentasi siswa di sekolah masih belum maksimal.

Didukung juga oleh pendapat Faiqoh et al. (2018), dalam penelitiannya terkait profil keterampilan argumentasi siswa pada jenjang SMA kelas X dan XI MIPA didapatkan hasil dari pengerjaan soal yang bersifat menstimulus siswa untuk berargumentasi, pada sebagian nomor soalnya yang merujuk pada penjelasan tentang klaim dari 30 siswa subyek penelitian, hanya 13 siswa yang memberikan bukti atau data. Hal ini disebabkan karena siswa cenderung kebingungan untuk menjawab soal yang disertai pembuktian, karena selama ini siswa tidak dibiasakan untuk memberikan bukti pada setiap jawab soal *essay*.

Sampson, et al. (dalam Imaniar & Astutik, 2019), menyatakan bahwa ketika siswa diminta untuk mengumpulkan data kemudian memahami suatu fenomena

berdasarkan data tersebut ketika mereka terlibat dalam argumentasi ilmiah di kelas, kerap kali siswa merasa kesulitan dalam melakukan aspek argumentasi ilmiah ini.

Meningkatkan keterampilan argumentasi siswa masih menjadi tantangan besar bagi bidang pendidikan di berbagai negara. Seperti yang diutarakan oleh Lee et al. (2019) mengutip dari beberapa sumber, bahwa masih sangat banyak tantangan terkait penerapan argumentasi di kelas sains. Mengutip dari Berland dan Raiser (2009), siswa masih mengalami kesulitan dalam membedakan antara klaim (*claim*), bukti (*evidence*), dan alasan (*reasoning*). Selain itu, siswa juga sulit dalam menginterpretasikan bukti dalam kerangka teori (McNeill, et al., 2006), mengenali pernyataan ilmiah yang tepat (Kuhn, 1993), dan memahami bidang pengetahuan yang diperlukan untuk menginterpretasikan bukti (Sandoval, 2003).

Pernyataan-pernyataan tersebut membuktikan bahwa tingkat keterampilan argumentasi pada siswa sekolah menengah masih rendah khususnya di Indonesia, bahkan di beberapa negara lainnya. Kesulitan yang banyak dialami oleh siswa adalah menyertakan bukti ilmiah yang tepat atas klaim yang disampaikannya. Hal ini karena siswa tidak dibiasakan melakukan kegiatan argumentasi ilmiah yang terstruktur dalam pembelajaran sains.

#### **d. Urgensi Keterampilan Argumentasi Ilmiah Siswa dalam Pembelajaran Sains di Sekolah**

McNeill & Krajcik (2008) menyatakan bahwa untuk mewujudkan masyarakat yang melek sains, siswa perlu sering terlibat dalam kegiatan inkuiri. Salah satu caranya adalah dengan melibatkan siswa pada praktik menjelaskan dan berargumentasi selama pembelajaran di kelas. Dalam praktik sederhana, seperti dengan melatih siswa untuk memahami dan mengevaluasi penjelasan yang muncul di koran, majalah, dan berita untuk menentukan kredibilitas dan validitasnya. Sebagai contoh, sebuah artikel di surat kabar mungkin mengklaim bahwa penelitian sel punca penting bagi kesehatan manusia dan untuk mengobati penyakit. Siswa harus mampu membaca artikel tersebut secara kritis dengan mengevaluasi bukti dan alasan yang disajikan di dalamnya. Kemampuan tersebut memungkinkan siswa untuk membuat keputusan yang tepat.

“Argumentasi merupakan komponen penting dalam proses pembelajaran karena dalam proses berargumentasi, siswa mempelajari berbagai konsep ilmiah dan berkesempatan untuk melatih keterampilan ilmiah siswa (Astira et al., 2019)”. Anita et al. (2019) menyatakan bahwa penerapan argumentasi dalam pembelajaran di kelas sangat penting karena dapat membantu guru dalam mengetahui kemampuan peserta didik terutama dalam bidang sains. Menurut Paramita et al. (2019), pembelajaran sains melibatkan argumentasi, dan bahkan sudah disepakati sebagai komponen penting. Hal ini karena ilmu sains dibangun oleh teori yang berisi penjelasan serta bukti yang mendukung penjelasan tersebut.

Samosa (2021), menyatakan bahwa siswa tingkat sekolah menengah harus mampu melakukan argumentasi ilmiah dan menjelaskan hasil investigasi berdasarkan bukti dan dukungan dengan alasan ilmiah, menggunakan bukti dan melakukan penelitian untuk mengumpulkan lebih banyak bukti, serta dalam menerima atau menyanggah suatu pengetahuan atau ide yang ada, siswa harus menyertakan banyak bukti. Hal inilah yang menjadikan keterampilan argumentasi ilmiah pada siswa utamanya di sekolah menengah sangatlah penting. Didukung juga oleh pendapat Lee et al. (2019), bahwa menulis argumen ilmiah merupakan aspek penting dalam inkuiri ilmiah (Manz, 2015) dan memberikan kesempatan untuk memahami data berdasarkan pengetahuan (Sandoval, 2006).

Öztürk & Doğanay (2019) mengutip dari Driver, Newton, & Osborne (2000), menyatakan bahwa terdapat banyak fungsi atau manfaat dari penerapan pembelajaran argumentasi di kelas sains, beberapa diantaranya yaitu dapat memastikan pemahaman siswa tentang konsep pengetahuan ilmiah, siswa mampu mengidentifikasi efek dari nilai-nilai pribadi dan sosial dalam pengambilan keputusan, serta memungkinkan siswa untuk dapat mengevaluasi bukti dari berbagai perspektif.

Pendapat lainnya yang menyatakan bahwa keterampilan argumentasi penting diterapkan dalam pembelajaran sains di sekolah adalah menurut Zahara et al. (2018) dalam (Dewantari et al., 2022), bahwa dalam pembelajaran sains, melatih dan membiasakan siswa berargumentasi sangat diperlukan, hal tersebut agar siswa memiliki pemikiran yang logis, pandangan yang jelas, dan dapat menjelaskan

alasan yang rasional terhadap fenomena atau fakta-fakta sains yang terjadi di dalam kehidupan sehari-hari berdasarkan teori atau konsep sains yang relevan.

Berdasarkan beberapa pernyataan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa melatih keterampilan argumentasi ilmiah siswa pada pembelajaran sains di sekolah penting dilakukan, karena beberapa manfaat yang akan dirasakan, antara lain menambah pemahaman siswa terkait proses sains, siswa menjadi lebih kritis terhadap informasi sains yang diterimanya, mampu membuat keputusan dengan tepat, dan mampu menjelaskan fakta atau fenomena sains dalam kehidupan sehari-hari dengan alasan yang rasional namun tetap beretika dan bertanggung jawab atas kebenaran bukti yang diutarakannya.

### **2.1.2 Pola Argumentasi Ilmiah**

Lee et al. (2019) menyatakan sulitnya menciptakan budaya argumentasi ilmiah di dalam kelas, sehingga membutuhkan waktu, dan memerlukan pelatihan yang memadai bagi para guru. Oleh karena itu, untuk memudahkan dalam melatih keterampilan ini dapat berbantuan suatu pola argumentasi ilmiah.

#### **a. Pola Argumentasi Ilmiah Toulmin**

Van Eemeren (dalam Lieber & Graulich, 2022) mengatakan teori-teori mengenai penalaran yang kerap digunakan dalam kehidupan sehari-hari banyak dibuat oleh Stephen Edelston Toulmin, sehingga dapat menganggapnya sebagai pendiri pertama teori argumentasi modern. Salah satu gagasannya adalah Pola Argumentasi Ilmiah Toulmin (*Toulmin's Argumentation Pattern/TAP*). Dikembangkan pertama kali pada tahun 1958.

Pola ini menentukan argumentasi ilmiah mengandung enam komponen, yaitu klaim (*claim*), data (*data*), penjamin (*warrant*), dukungan (*backing*), sanggahan (*rebuttal*), dan penguatan (*qualifier*). Komponen yang paling utama dan harus ada pada setiap argumentasi ilmiah adalah komponen *claim*, *data*, *backing*, dan *warrant*. Sementara komponen *rebuttal* dan *qualifier* hanya ada ketika dibutuhkan (Toulmin, 2003). Berikut merupakan penjelasan terkait masing-masing komponen yang disampaikan oleh Toulmin (2003) dalam bukunya yang berjudul "*The Uses of Argument*" :

- 1) *Claim* (Klaim), merupakan pernyataan awal yang berasal dari keyakinan pembuat argumen. Toulmin (2003) juga menyatakan pentingnya menilai dan mempertimbangkan klaim yang dibuat karena menunjukkan kredibilitas pembuat argumen;
- 2) *Data* (Data), merupakan fakta-fakta yang mendasari bahwa klaim tersebut sesuai. Jawaban terkait data dapat muncul ketika mendapat pertanyaan, “apa (data) yang kamu miliki?” atau dapat diartikan bukti apa yang dimiliki oleh pemberi argumen untuk mendukung bahwa klaim tersebut sesuai;
- 3) *Warrant* (Penjamin), merupakan pembenaran dari data yang diberikan, atau dapat dikatakan alasan mengapa data tersebut mendasari klaim. *Warrant* adalah penghubung data dengan klaim. Jawaban terkait *warrant* dapat muncul dari pertanyaan awal, “Bagaimana anda bisa mengaitkan dari data ke klaim?”.
- 4) *Backing* (Dukungan), merupakan prinsip-prinsip, norma, etika, atau nilai-nilai umum yang mendukung *warrant*. *Backing* didasari atas pertanyaan “Bagaimana anda berhak untuk menghubungkan data ke klaim tersebut?”.
- 5) *Qualifier* (Penguatan), merupakan penguatan yang muncul dari pertanyaan, “apakah memang demikian?”. *Qualifier* memberikan informasi terkait kekuatan klaim kita jika memang diperlukan. *Qualifier* dapat digunakan untuk melemahkan klaim lain.
- 6) *Rebuttal* (Sanggahan), diperlukan ketika hendak mematahkan klaim yang tidak valid untuk kemudian disanggah dengan klaim yang valid.

#### **b. Pola Argumentasi Ilmiah McNeill dan Krajcik (Pola CER)**

McNeill & Krajcik (2006) bekerja sama dengan para guru mengembangkan sebuah model atau pola argumentasi ilmiah secara tertulis yang dapat memudahkan guru dalam melatih siswa membiasakan berargumentasi secara ilmiah. Pola ini diadaptasi dari pola argumentasi Toulmin (1958), yang mana pola argumentasi ilmiah yang dibuat oleh Toulmin dinilai cukup kompleks untuk melatih siswa sekolah menengah. Bahkan seperti yang dikatakan Van Eemeren, et al. (dalam McNeill et al., 2006) bahwa peneliti dan filsuf pun terkadang kesulitan dalam menginterpretasikan pola Toulmin, sehingga akan lebih sulit untuk dipahami oleh siswa sekolah menengah (McNeill et al., 2006). Pola argumentasi yang

dikembangkan oleh McNeill & Krajcik (2006) ini membagi kerangka kerja atau komponen-komponen berargumentasi ilmiah yang terdiri atas tiga bagian, yaitu *Claim* (klaim), *Evidence* (bukti), dan *Reasoning* (alasan) atau disingkat sebagai *CER*.

1) *Claim* (Klaim)

*Claim* adalah pernyataan atau kesimpulan yang menjawab pertanyaan awal. Klaim merupakan komponen yang paling mudah dipahami oleh siswa dan sudah pasti siswa cantumkan saat melakukan penjelasan atau argumentasi ilmiah, karena klaim merupakan pendapat awal dari pemberi argumen yang menjawab suatu pertanyaan atau pernyataan permasalahan yang belum disertai dengan bukti. Kebanyakan siswa dalam melakukan argumentasi ilmiah hanya memberikan klaim semata. Terbukti dalam hasil penelitian Haruna & Nahadi (2021), menyatakan bahwa sebagian besar siswa hanya memberikan klaim tanpa pembenaran/pembuktian apapun sehingga tingkatannya berada pada level 1.

2) *Evidence* (Bukti)

*Evidence* adalah data ilmiah yang mendukung klaim tersebut. Data-data ini dapat berasal dari investigasi atau dari sumber lain, seperti pengamatan, bahan bacaan, atau data yang diarsipkan. Data tersebut harus sesuai dan cukup untuk mendukung klaim. Yang dimaksud dengan tepat adalah data yang relevan dengan masalah dan membantu menentukan dan mendukung klaim. Cukup mengacu pada penyediaan data yang cukup untuk meyakinkan orang lain tentang klaim tersebut. Seringkali memberikan bukti yang cukup membutuhkan penggunaan beberapa data.

3) *Reasoning* (Alasan)

*Reasoning* adalah pembenaran yang menunjukkan mengapa data tersebut dianggap sebagai bukti untuk mendukung klaim. Dalam komponen penalaran, McNeill dan Krajcik mendorong siswa untuk mengartikulasikan logika di balik mengapa mereka percaya bahwa bukti tersebut mendukung klaim. Siswa mungkin perlu mendukung hubungan antara klaim dan bukti dengan menyertakan prinsip-prinsip ilmiah yang sesuai. *Reasoning* dalam pola McNeill dan Krajcik merupakan gabungan dari komponen *warrant* (penjamin) yang merupakan hubungan antara

*claim* dengan *evidence*, dan komponen *backing* (dukungan) yang merupakan dukungan teori atau prinsip ilmiah yang mendasari alasan mengapa bukti digunakan untuk mendukung klaim pada pola Toulmin. McNeill dan Krajcik menjelaskan dua bagian tersebut ke dalam rubrik kriteria tingkatan argumentasi ilmiah siswa bagian komponen *reasoning* (secara lebih rinci dapat dilihat pada **Tabel 1.1** bagian **Definisi Operasional**).

McNeill & Krajcik (2008) juga menjelaskan bahwa peran guru sangatlah penting dalam melatih siswa melakukan penjelasan secara ilmiah. Ada lima strategi yang dapat digunakan oleh para guru untuk membantu para siswa dalam menulis penjelasan ilmiah, diantaranya :

1) Membuat kerangka kerja secara eksplisit

Guru menjelaskan terlebih dahulu kepada siswa masing-masing dari komponen argumentasi ilmiah (*claim, evidence, reasoning*) secara rinci. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa komponen *claim* merupakan yang paling mudah dipahami oleh siswa, sementara komponen *evidence* dan *reasoning* cukup sulit untuk dipahami. Sehingga guru harus lebih membangun percakapan yang ekstensif dalam menjelaskan makna dari komponen *evidence* dan *reasoning* kepada siswa. Misalnya guru menjelaskan perlunya kecukupan, keakuratan, dan kesesuaian bukti yang harus dimiliki oleh siswa untuk mendukung klaimnya. Selain itu menjelaskan juga terkait pentingnya memberi alasan (*reasoning*) dalam menulis argumentasi ilmiah karena *reasoning* merupakan prinsip ilmiah dalam menghubungkan *claim* dengan *evidence* yang telah ditemukan.

2) Membuat model dan mengkritisi argumen

Guru juga perlu memberi contoh dan mengkritisi suatu argumen kepada siswa. Guru dapat memberikan model penjelasan melalui contoh lisan atau contoh tertulis. Guru perlu secara eksplisit mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan dari contoh-contoh tersebut. Siswa dapat memperoleh manfaat dari mengamati contoh penalaran yang kuat yang secara jelas mencakup prinsip ilmiah untuk menunjukkan mengapa bukti-bukti tersebut mendukung klaim tersebut. Menggunakan contoh-contoh seperti ini dapat membantu siswa memahami bagaimana menulis argumen

berkualitas tinggi dalam berbagai bidang konten dan bagaimana menjadi lebih kritis terhadap tulisan mereka sendiri.

3) Memberikan dasar pemikiran untuk membuat argumen

Untuk membuat penjelasan ilmiah secara efektif, siswa harus memahami mengapa mereka perlu terlibat dalam praktik inkuiri ini (berargumentasi ilmiah). Jika tidak, penggunaan kerangka kerja argumentasi ilmiah (yaitu *claim*, *evidence*, dan *reasoning*) dapat menjadi terlalu prosedural sehingga siswa tidak memahami nilai dan tujuannya. Seperti contoh guru menjelaskan pentingnya menggunakan komponen *claim*, *evidence*, dan *reasoning* dalam berargumentasi ilmiah, karena pada hakikatnya, seorang ilmuwan menggunakan argumentasi yang dapat dipertanggungjawabkan kebenarannya dalam menggambarkan proses sains.

4) Menghubungkan dengan fenomena kehidupan sehari-hari

Guru juga dapat menjelaskan pentingnya dalam memberikan suatu klaim kepada orang lain dalam kehidupan sehari-hari (baik dalam atau di luar pembahasan sains) harus disertai dengan bukti dan alasan kuat yang menghubungkan klaim dengan bukti tersebut agar mampu meyakinkan orang lain. Sebagai contoh, meminta siswa mendiskusikan siapa pemain basket terbaik menurutnya dengan disertai bukti dan alasan yang kuat untuk meyakinkan guru dan teman lainnya, atau bagaimana cara siswa meyakinkan orang tuanya agar mendapatkan uang saku yang lebih tinggi. Hal ini bertujuan untuk mendiskusikan bagaimana klaim, bukti, dan kerangka kerja penalaran dapat digunakan. Menggambar dari apa yang siswa ketahui tentang bukti atau pembenaran dalam kehidupan sehari-hari dapat membantu mereka memahami konsep yang sama dalam sains.

5) Menilai dan memberikan umpan balik kepada siswa

Guru perlu memberikan umpan balik yang eksplisit dan menyeluruh etika menilai argumentasi siswa. Memberi tahu siswa bahwa penjelasan mereka "bagus" atau "lemah" tidak selalu memberi mereka panduan tentang cara meningkatkannya. Guru dapat memberikan umpan balik yang spesifik pada berbagai aspek yang berbeda pada setiap komponen argumentasi (klaim, bukti, dan alasan), konten sains dari argumen tersebut, dan kualitas argumen secara keseluruhan. Dalam

memberikan umpan balik, guru perlu menunjukkan kekuatan dan dan kelemahan yang terkandung dalam argumen siswa.

### **2.1.3 Deskripsi Materi dari Konsep Perubahan Lingkungan**

#### **a. Pengertian dan Penyebab Perubahan Lingkungan**

Definisi lingkungan hidup terdapat pada Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Pasal 1 ayat (1) yang berbunyi, “Lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi alam itu sendiri, kelangsungan perikehidupan, dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain”.

Manusia dengan segala perilaku dan kondisi sosialnya termasuk juga ke dalam unsur lingkungan hidup (Sastrawijaya, 2009). Masih menurut Sastrawijaya (2009), bahwa terdapat hubungan dinamis yang saling memengaruhi antara manusia dengan lingkungan hidupnya. Interaksi antara manusia dengan lingkungan tersebut dipengaruhi oleh jenis, kondisi, sifat, dan jumlah sumber daya hayati dan non-hayati, serta kebudayaan manusia yang ikut menentukan bentuk dan intensitas interaksi antara manusia dengan lingkungannya (Susilawaty et al., 2021).

Sejatinya, perubahan yang terjadi pada lingkungan hidup tidak sepenuhnya berasal dari interaksi manusia terhadap lingkungannya. Seperti yang diutarakan oleh Sriyono (2019), bahwa lingkungan hidup dapat mengalami perubahan karena gangguan alam. Gangguan-gangguan alam tersebut dapat berupa bencana alam seperti gunung meletus, gempa bumi, tsunami, dan bencana yang terjadi secara alami lainnya. Kendati demikian, perubahan lingkungan lebih sering terjadi dan lebih fatal dampaknya terhadap kelestarian dan keseimbangan ekosistem, merupakan akibat dari perilaku manusia. Steffen et al. (dalam Ford et al., 2020), menyatakan bahwa sekarang ini kita hidup di era *antroposen*, era dimana segala tindakan manusia telah menjadi pendorong utama perubahan lingkungan.

McMichael dan Githeko (dalam Susilawaty et al. 2021), bahwa pembangunan yang dilakukan oleh manusia menggunakan teknologinya telah banyak mengubah alam, seakan-akan menjadikannya alam buatan manusia. Pembangunan tersebut didasari oleh kepentingan dan kebutuhan manusia, ditambah

lagi dengan sifatnya yang tidak pernah puas. Tentunya upaya tersebut mengharuskan manusia untuk mengeksploitasi sumber daya alam. Pertambahan jumlah manusia menaikkan pula aktivitas eksploitasi sumber daya alam tersebut, sementara luas bumi dan kapasitas sumber dayanya tidak bertambah.

## **b. Pencemaran Lingkungan sebagai Penyebab Perubahan Lingkungan**

### **1) Pengertian Pencemaran Lingkungan**

Seperti yang telah diutarakan sebelumnya bahwa perubahan lingkungan terjadi karena adanya gangguan-gangguan baik faktor alam dan manusia. Gangguan tersebut dapat juga disebut sebagai pencemar atau polusi. Sehingga keadaan dimana terjadi perubahan lingkungan dari kondisi seimbang menjadi rusak akibat suatu gangguan disebut sebagai peristiwa pencemaran lingkungan. Definisi pencemaran lingkungan tertera dalam Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Pasal 1 ayat (14) yang berbunyi, “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 lainnya menurut Pepper et al. (2006), yang menyatakan bahwa polusi atau pencemaran adalah akumulasi dan dampak buruk dari kontaminan atau polutan terhadap kesehatan dan kesejahteraan manusia, dan/atau lingkungan. Selaras dengan pernyataan mengenai polusi atau pencemaran lingkungan yang diartikan sebagai pergeseran bentuk tatanan lingkungan hidup dari kondisi asal menjadi kondisi yang buruk sebagai akibat masukan dari bahan-bahan pencemar atau polutan yang bersifat toksik sehingga berbahaya bagi kehidupan organisme (Hidayat et al., 2022).

Pada dasarnya lingkungan memiliki kemampuan untuk kembali pada kondisi awalnya jika terjadi gangguan, yang mana istilah ini disebut sebagai daya lenting lingkungan (Faizal & Samawi, 2018). Daya lenting lingkungan terdiri atas dua komponen: *resistence*, yaitu kemampuan untuk menyerap atau menahan dampak tekanan, dan *recovery*, yaitu kemampuan untuk kembali pulih Maynard et al. (dalam Faizal & Samawi, 2018). Namun, seperti yang dikatakan Peterson et al. (dalam Faizal & Samawi, 2018) bahwa daya lenting sangat bergantung pada

stabilitas ekosistem dan kemampuan dalam menteloransi gangguan serta memulihkan diri. Jika pada akhirnya lingkungan tidak mampu lagi untuk bertahan atau memulihkan kembali keadaannya, dapat dikatakan bahwa gangguan atau pencemaran yang terjadi sudah berada pada tingkat parah hingga melewati batas daya lentingnya.

## **2) Jenis-Jenis Pencemaran Lingkungan**

Pencemaran lingkungan terjadi pada setiap unsur alam baik udara, air, tanah, dan beberapa jenis pencemaran lainnya. Agar dapat dengan mudah dipahami, pencemaran lingkungan dikategorikan menjadi beberapa jenis, yaitu pencemaran udara, pencemaran air, pencemaran udara, dan berbagai jenis pencemaran lainnya seperti spesies invasif, polusi cahaya, polusi suara, polusi radio spektrum, dan polusi visual.

### **a) Pencemaran Udara**

#### **(1) Pengertian Pencemaran Udara**

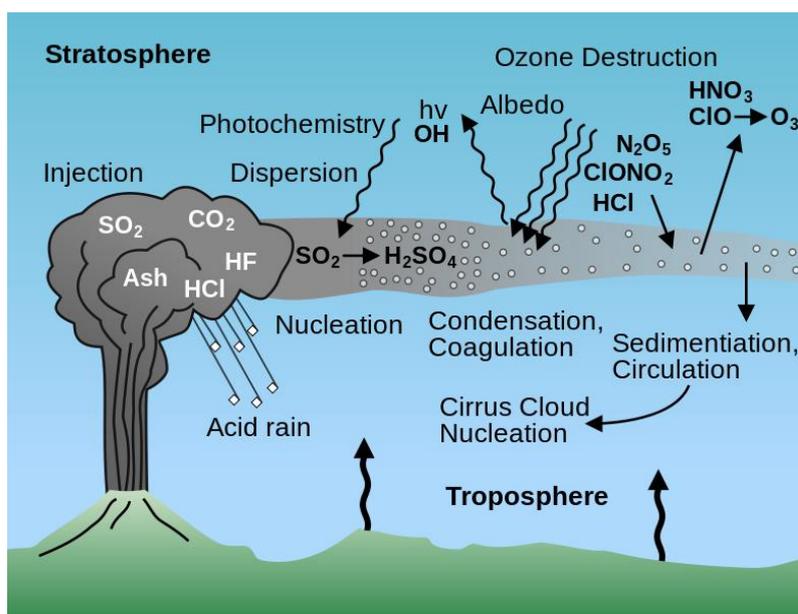
WHO mendefinisikan pencemaran atau polusi udara sebagai terkontaminasinya udara oleh bahan kimia, fisik, atau biologis baik di dalam ruangan maupun di ruang terbuka, yang mengubah karakteristik alami dari atmosfer. Spellman (2021), bahwa pencemaran udara adalah keberadaan substansi asing di udara karena faktor alam atau disebabkan oleh manusia, dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan dalam waktu yang cukup lama, yang menyebabkan dampak negatif. Spellman (2021) menyatakan pada dasarnya, udara di atmosfer yang kering dan bersih mengandung berbagai macam gas. Pada lapisan terbawah terdiri atas Nitrogen (78,08%) dan Oksigen (20,94%), 1% lainnya sebagian besar adalah Argon (0,093%), dengan sejumlah kecil gas lainnya (Neon, Helium, Krypton, Xenon, Ozon), termasuk uap air atau Hidrogen (dengan rata-rata sekitar 0,7%) dan karbon dioksida (0,03%).

Namun kenyataannya, seperti yang dinyatakan oleh Sastrawijaya (2009), udara tidak pernah sepenuhnya bersih, bahkan sejak belum adanya manusia di bumi. Berbagai aktivitas alam menghasilkan partikel-partikel asing, namun juga memiliki fungsi tertentu. Partikel-partikel tersebut menjadi inti tempat molekul air, dan mengalami siklus hidrologi. Tetapi jika partikel-partikel asing terlalu banyak,

maka siklus tersebut akan terganggu dan mempengaruhi keseimbangan biosfer. Sayangnya, pencemaran udara telah banyak terjadi di muka bumi, yang mana kondisi tersebut diperparah dengan emisi yang berasal dari aktivitas manusia.

## (2) Sumber atau Penyebab Pencemaran Udara

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa substansi pencemar udara bisa berasal dari dua faktor, yaitu aktivitas yang terjadi di alam dan bersumber dari kegiatan manusia yang menghasilkan emisi. Pencemaran udara yang bersifat alamiah biasanya diakibatkan dari gas pembusukan, debu akibat erosi, partikel garam laut, serbuk tepung sari atau spora yang terbawa angin, abu vulkanik, debu akibat ledakan kosmik (Sastrawijaya, 2009). Sedangkan pencemaran udara yang diakibatkan oleh manusia dapat dikategorikan berdasarkan sumber kegiatan manusia yang menghasilkan emisi. Sebagai contoh, pencemaran udara akibat letusan gunung berapi yang besar berdampak pada perubahan iklim diilustrasikan prosesnya pada **Gambar 2.1** berikut :



**Gambar 2.1** Abu Vulkanik Mencemari Atmosfer

Sumber : Williams (2012)

**Gambar 2.1** menunjukkan bahwa letusan gunung berapi dengan skala besar akan menghasilkan gas-gas, abu, dan partikel aerosol kimiawi seperti SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, HF, dan HCl, meskipun yang paling umum adalah SO<sub>2</sub>. Ketiganya terinjeksi ke dalam stratosfer. Partikel aerosol khususnya SO<sub>2</sub> yang mengalami reaksi menjadi

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sehingga disebut partikel sulfat memengaruhi gelombang panjang dan gelombang pendek radiasi di stratosfer sehingga mengganggu keseimbangan radiasi di bumi yang menyebabkan pendinginan atau pemanasan suhu stratosfer sementara (Robock, 2004; Marshall et al., 2022). Reaksi kimia heterogen partikel aerosol juga menyebabkan hancurnya ozon sehingga terbentuk lubang ozon (Robock, 2004). Sebagian gas juga berdampak pada hujan asam, serta sebagian abu dan partikel aerosol terkondensasi membentuk awan sirrus (Sporre et al., 2022).

Spellman (2021), menyatakan bahwa kontributor terbesar dari kegiatan manusia yang menghasilkan emisi dalam pencemaran udara berasal dari aktivitas transportasi, berkisar 46%. Sumber kedua terbesar lainnya berasal dari hasil pembakaran bahan bakar pada fasilitas stasioner: fasilitas pemanas atau pembakar seperti *boiler*, *heater*, tungku, tanur, oven, suar, pengoksidasi termal, pengering, dan peralatan atau mesin lainnya yang membakar bahan bakar yang mengandung karbon atau bahan aliran limbah (EPA, 2020), berkisar hampir 30%. Kegiatan industri dan sumber lainnya berkontribusi sebanyak kurang lebih 6%, sementara dari pembuangan limbah padat terhitung sekitar 2%.

Pencemaran udara di dalam ruangan menjadi bagian dari sumber pencemaran udara yang paling banyak terjadi. Bentuk pencemaran udara di dalam ruangan diantaranya disebabkan oleh asap rokok, penggunaan obat nyamuk bakar, penggunaan bahan bakar memasak, dan pengelolaan sampah (Husna et al., 2022). Contoh dari aktivitas pembakaran yang mengakibatkan pencemaran udara dapat dilihat pada **Gambar 2.2** di bawah :



**Gambar 2.2** Polusi Udara akibat Aktivitas Pembakaran Terbuka

Sumber : Dokumentasi pribadi

**Gambar 2.2** menunjukkan adanya bukti fisik berupa kepulan asap yang dihasilkan dari aktivitas pembakaran terbuka sehingga mencemari udara dan akan terus menyebar ke sekitarnya karena angin. Hasil pembakaran tersebut selain berdampak negatif khususnya pada kesehatan pernafasan, juga menghasilkan emisai gas-gas rumah kaca (Wahyudi, 2019).

### (3) Kriteria Polutan Pencemar Udara

Polutan pada pencemaran udara adalah zat, bahan atau substansi yang mencemari udara. Polutan pencemar udara dapat terbagi menjadi dua jenis, yaitu polutan primer dan polutan sekunder. Polutan primer ialah polutan yang berasal langsung dari sumber polutan tertentu (Husna et al., 2022), beberapa diantaranya seperti), Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ), Karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), *Particulate matter* (PM), dan partikulat timbal (Tulandi & Handriyono, 2019). Sedangkan polutan sekunder adalah polutan yang terbentuk di atmosfer, merupakan hasil dari reaksi antara polutan primer dan unsur lain dari alam, salah satu polutan sekunder adalah Ozon ( $\text{O}_3$ ) (Husna et al., 2022). Secara lebih rinci, kriteria polutan pencemar udara menurut Spellman (2021) adalah sebagai berikut :

#### (a) Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ )

Dapat ditemukan dalam bahan bakar fosil tertentu seperti batu bara. Selama pembakaran bahan bakar tersebut, Sulfur teroksidasi menghasilkan gas Sulfur

dioksida ( $\text{SO}_2$ ). Gas ini memiliki sifat tak berwarna dengan bau yang tajam dan menyengat.

(b) Nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ )

NO berbahaya jika teroksidasi menjadi  $\text{NO}_2$  dengan adanya sinar matahari, NO dapat bereaksi dengan hidrokarbon membentuk kabut fotokimia. NO tidak berwarna; namun, ketika diubah menjadi  $\text{NO}_2$ , akan cenderung berwarna coklat kemerahan pada kabut asap. Sumber terbesar nitrogen oksida adalah oksidasi senyawa nitrogen selama pembakaran bahan bakar fosil tertentu, seperti batu bara dan bensin.

(c) Karbon monoksida (CO)

Karbon monoksida terbentuk dari pembakaran bahan bakar fosil yang tidak sempurna. Memiliki sifat sama sekali tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa.

(d) *Particulate Matter* (PM)

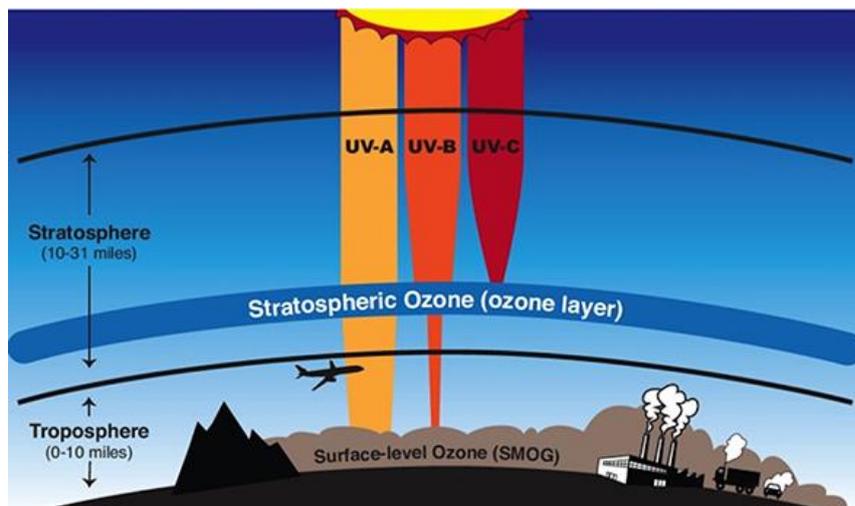
Partikulat atau biasa disingkat PM adalah fragmen padatan atau tetesan cairan yang sangat kecil yang tersuspensi di udara. Partikulat (kecuali timbal) dibedakan berdasarkan ukuran partikel dan sumbernya, bukan berdasarkan komposisi kimianya. Sebagian besar memiliki ukuran antara  $0,1\mu$  hingga  $100\mu$ .

(e) Partikulat timbal (Pb)

Timbal terdapat di udara bisa dalam bentuk partikel atau gas. Kebanyakan timbal bersumber dari pembakaran bensin pada kendaraan bermotor. Selain itu, dapat juga diemisikan dari operasi penyulingan dan peleburan minyak bumi, dan kegiatan industri lainnya.

(f) Ozon ( $\text{O}_3$ )

Ozon dalam konteks ini merupakan polutan sekunder yang terbentuk dari reaksi kimia yang kompleks antara Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dengan senyawa organik yang mudah menguap/*Volatile Organic Compounds* (VOCs). Ozon ini terdapat di troposfer atau disebut juga sebagai *Surface-level Ozone* (SMOG) seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.3**. VOCs adalah hidrokarbon yang berbentuk gas dalam kondisi atmosfer normal. Reaksi ini dipicu oleh energi ultraviolet dalam sinar matahari.



**Gambar 2.3** *Surface-level Ozone* di Troposfer sebagai Polutan Pencemar Udara

Sumber : UCAR Center for Science Education (2014)

#### (4) Pengendalian dan Pencegahan terhadap Pencemaran Udara

##### (a) Pengendalian Pencemaran Udara

Hal pertama yang dilakukan oleh pemerintah Indonesia dalam upaya pengendalian pencemaran udara adalah dengan menetapkan Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara.

Penggunaan teknologi nanopartikel merupakan salah satu usaha pengendalian pencemaran udara. Mammadova et al. (2022) berdasarkan hasil penelitiannya, menyatakan bahwa nanopartikel menjadi salah satu teknologi yang sangat potensial dalam remediasi kontaminan pencemar udara. Memiliki nilai kelebihan pada reaktivitasnya yang tinggi, efisien, dan lebih rendah pada segi biaya jika dibanding metode secara konvensional. Bahan pencemar berupa logam berat di atmosfer dapat secara signifikan diserap oleh *NMs* (*Nanomaterials*), yang terdiri dari *nanoadsorbents*, *nanocatalysts*, *nanofilters*, dan *nanosensors*

Solusi lainnya yang dapat dilakukan adalah remediasi polutan partikulat. Beberapa teknologi yang dapat digunakan dalam remediasi partikulat dengan cara memisahkannya dari aliran gas, menurut Spellman (2021), antara lain pengendapan gravitasi (*gravitation settlers*), pengendapan sentrifugal (*centrifugal settlers*), filter kain (*fabric filter*), presipitasi elektrostatik (*electrostatic presipitation*), atau *wet scrubber*.

Tidak hanya partikulat. Polutan gas juga dapat dilakukan remediasi. Empat proses pengolahan utama remediasi saat ini untuk mengendalikan emisi gas antara lain absorpsi (penyerapan), adsorpsi, kondensasi, dan insinerasi.

#### (b) Pencegahan Pencemaran Udara

Beberapa upaya pencegahan yang dapat dilakukan, seperti yang diutarakan oleh Susilawaty et al. (2021), antara lain mengurangi bahan bakar fosil, memaksimalkan proses penyaringan atau penyerapan polutan pada industri, membuat aliran gas buangan ke dalam air atau larutan pengikat sebelum dibebaskan ke udara, meninggikan cerobong asap agar polutan tidak terperangkap di atas pemukiman, mengurangi penggunaan bahan bakar, memasifkan penghijauan.

#### b) Pencemaran Air

##### (1) Pengertian Pencemaran Air

Pencemaran air dapat digambarkan sebagai situasi ketika masuknya kontaminan ke dalam suatu perairan hingga menghambat penggunaan air sesuai dengan yang dimaksudkan (Pepper et al., 2006). Sehingga air dikatakan tercemar jika tingkat kontaminan yang masuk berdampak pada tidak bergunanya air tersebut sesuai dengan peruntukannya. Satu contoh peristiwa yang diutarakan oleh Pepper et al. (2006), kontaminan dengan tingkatan tertentu sudah dapat mencemari air yang digunakan untuk sumber air minum, namun belum dikatakan tercemar jika air tersebut digunakan untuk pertanian. Arni & Susilawati (2022) mendefinisikan pencemaran air ke dalam dua kelompok yaitu masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, energi, zat maupun komponen lainnya hingga melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Pengertian lainnya diungkapkan oleh Rani & Afdal (2020), pencemaran air adalah masuknya zat atau komponen lain ke dalam air akibat aktivitas manusia, yang menyebabkan perubahan pada perairan seperti danau, sungai, lautan, dan air tanah, sehingga kualitas air mengalami penurunan dan hingga pada batas tertentu tidak dapat digunakan lagi sebagaimana mestinya. Salah satu contoh sederhana dari kejadian pencemaran air akibat dari aktivitas manusia adalah pembuangan limbah rumah tangga ke dalam parit ditunjukkan oleh **Gambar 2.4** di bawah :



**Gambar 2.4** Pencemaran Air pada Parit oleh Limbah Rumah Tangga

Sumber : Dokumentasi pribadi

Pencemaran limbah rumah tangga tersebut menyebabkan fungsi parit untuk sistem drainase permukaan jalan atau fungsi lainnya menjadi terganggu, bahkan menimbulkan pencemaran pada udara yaitu bau tidak sedap yang berasal dari limbah rumah tangga pada parit tersebut.

Adapun indikator air tercemar, dapat diukur secara kimia, fisika, maupun biologinya. Lebih rinci dijelaskan sebagai berikut :

(a) Indikator Fisika

Efendi (dalam Fatmawati, 2021) mengungkapkan bahwa parameter fisik terjadinya pencemaran air dapat dilihat dari perubahan suhu, perubahan warna, adanya bau, kedalaman, kecerahan, kekeruhan, dan padatan tersuspensi total (TSS/*Total Suspended Solid*), serta padatan terlarut total (TDS/*Total Dissolved Solid*) (Rifal et al., 2022). Rifal et al. (2022), menjelaskan bahwa TDS terdiri dari garam anorganik dan bahan organik yang terlarut dalam air, sedangkan TSS terdiri atas semua zat padat serta partikel-partikel di air juga berupa makhluk hidup. Kadar TSS yang tinggi menyebabkan terhalangnya penetrasi cahaya masuk ke perairan sehingga proses fotosintesis terganggu dan kadar oksigen terlarut menurun (Alya & Haryanto, 2022). Begitupun dengan kadar TDS yang tinggi akan menandakan rendahnya kualitas air atau mengalami tingkat pencemaran yang tinggi (Indihani et al., 2017).

### (b) Indikator Kimia

Dapat diukur dengan menganalisis *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Dissolved Oxygen* (DO). Kurnianti et al. (2020) menyatakan bahwa penurunan kualitas air dapat diukur berdasarkan tingginya konsentrasi bahan organik maupun anorganik baik dari limbah domestik dan industri di perairan, yang ditandai dengan tingginya nilai BOD dan COD. “Tingginya kandungan BOD atau COD di perairan dapat menurunkan konsentrasi oksigen terlarut (DO) (Kurnianti et al., 2020)”. Semakin tinggi nilai DO menandakan kualitas perairan semakin baik (Fatmawati, 2021). Indikator kimia lainnya yang juga dapat dijadikan sebagai penduga pencemaran air antara lain salinitas, pH, ortofosfat dan karbon dioksida (Fatmawati, 2021; Rukaesih, 2004), alkalinitas, kadar sulfur, logam berat, nitrogen dan metana (Harahap et al., 2020; Agustira, et al., 2013)

### (c) Indikator Biologis

Sifat biologis air limbah dapat dilihat dari tingkat kekotoran dan keberadaan mikroorganisme (Andika et al., 2020). Seperti dengan menghitung kepadatan bakteri Coliform di perairan, karena bakteri Coliform merupakan mikroba yang paling sering ditemukan di badan air yang telah tercemar (Hasibuan et al., 2022). Selain itu, keberadaan makrozoobenthos juga kerap dijadikan bioindikator pencemaran air karena sangat peka terhadap perubahan kualitas air tempat hidupnya, sehingga berpengaruh terhadap komposisi dan kelimpahannya di perairan tersebut (Sriwahjuningsih et al., 2022).

### (2) Sumber atau Penyebab Pencemaran Air

Sumber polutan pencemar air dapat berasal dari proses alami dan antropogenik. Beberapa faktor sumber polutan dari proses alami, seperti yang dijelaskan oleh Naseem Akhtar et al. (2021), yaitu : (1) Perubahan iklim dapat disebabkan oleh hujan asam yang lebat, mengalir ke permukaan perairan secara langsung atau tidak langsung dan mempengaruhi kualitas air tanah, (2) Bencana alam dapat menyebabkan mikroorganisme, material-material seperti tanah, batu, dan lumpur yang terbawa oleh banjir dan tanah longsor sehingga mencemari sumber daya perairan, (3) Faktor geologis dapat berasal dari infiltrasi polutan kimia

ke dalam air tanah melalui partikel tanah akibat dari penyerapan oleh akar tanaman, dari limpasan permukaan, akibat pelarutan mineral, atau peluruhan radioaktif yang merupakan emisi dari radiasi ionisasi beracun di atmosfer, (4) Pertukaran zona hiporeik, di mana air bergerak keluar dan masuk pada zona lambat maupun cepat dari dasar aliran dengan membawa gas terlarut, zat (padat) terlarut, kontaminan, mikroorganisme dan partikel, sehingga rentan terjadi perubahan salinitas pada air tanah.

Sedangkan sumber antropogenik menurut Naseem Akhtar et al. (2021) dapat berasal dari (1) Aktivitas industri: bahan kimia, pewarna, asam, alkali, pasir, deterjen, dan bahan yang sangat beracun (Spellman, 2021), (2) praktik pertanian: limbah pestisida, pupuk, dan arus balik irigasi, dan (3) Urbanisasi : limbah perkotaan baik limbah rumah tangga, sampah perkotaan, *septic tank*, produksi peternakan, dan praktik penggunaan lahan. Selain itu, Susilawaty et al. (2021) juga menyatakan bahwa limbah pengolahan kayu dan penggunaan bom oleh nelayan dalam menangkap ikan juga turut menjadi bagian dari sumber pencemaran air. “Air limbah rumah sakit juga merupakan salah satu sumber pencemaran air yang sangat potensial berdampak pada lingkungan” (Winarti, 2020). Burri et al. (dalam Naseem Akhtar et al., 2021) menyatakan bahwa secara keseluruhan, limbah antropogenik terbanyak di dunia berasal dari aktivitas industri manufaktur khususnya kegiatan pertambangan jika dibandingkan dengan aktivitas pertanian dan urbanisasi. Muller et al. (dalam Naseem Akhtar et al., 2021) pada kegiatan urbanisasi, limbah dari penggunaan lahan dan penutupan lahan mengalami peningkatan pesat secara global.

### (3) Pengendalian dan Pencegahan terhadap Pencemaran Air

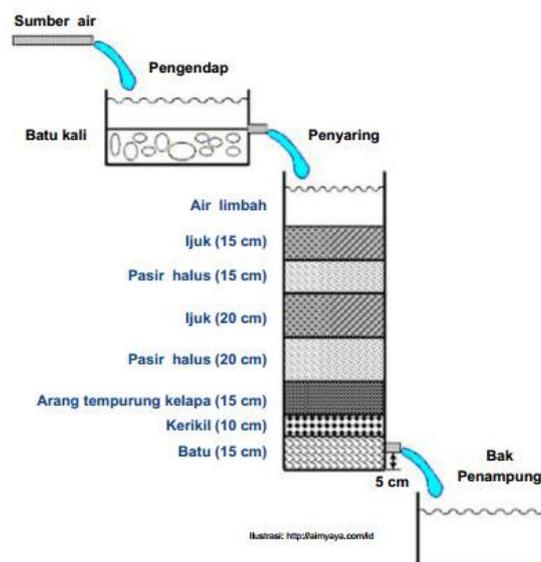
#### (a) Pengendalian Pencemaran Air

Susilawaty et al. (2021) menjelaskan beberapa metode yang biasa dilakukan untuk remediasi air yang tercemar, sebagai berikut :

**Filtrasi/Penyaringan Konvensional.** Merupakan salah satu metode yang biasa dilakukan untuk mendapatkan air bersih dari polutan yang tidak terlalu berat. Dapat dilakukan skala kecil dan skala besar. Skala kecil biasa digunakan dalam

rumah tangga dengan menggunakan alat dan bahan sederhana seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5** di bawah.

Air yang terkontaminasi dapat disaring untuk menghilangkan partikel-partikel tersuspensi di dalam air. Pertama, sumber air yang tercemar dilakukan pengendapan terlebih dahulu partikel pencemar yang terdapat dalam air menggunakan batu kali. Kemudian air disalurkan melalui pipa atau selang untuk kemudian dilakukan tahap penyaringan. Tahap penyaringan ini merupakan inti dari proses filtrasi, menggunakan drum atau bak filtrasi yang telah dimasukkan komposisi bahan dengan urutan dari bawah yaitu batu, kerikil, arang tempurung kelapa, pasir halus, dan teratas adalah ijuk. Ketebalan dari masing-masing bahan penyaring dapat dilihat lebih detail pada **Gambar 2.5**. Air yang telah difiltrasi kemudian ditampung menggunakan bak penampung.

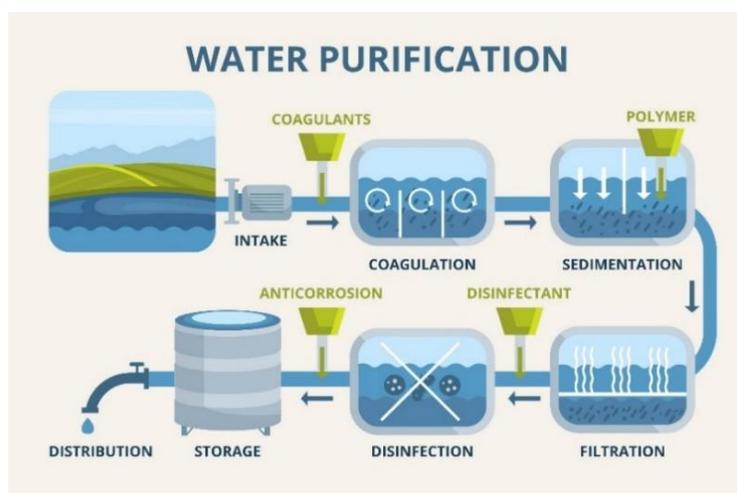


**Gambar 2.5** Penyaringan Air Sederhana

Sumber : Yayasan Buddha Tzu Chi Indonesia (2023)

Spellman (2021) menyatakan bahwa filtrasi skala besar dilakukan dengan tujuan untuk distribusi air bersih ke tujuan lokal (rumah, sekolah, perusahaan, atau rumah sakit), yang diambil dari sumbernya (danau, sungai, atau akuifer). Untuk memastikan kualitasnya, air harus dipantau dan diuji oleh operator berlisensi selama proses pengolahan dan pendistribusian. Secara lebih rinci proses

penyaringan air skala besar dapat dilihat pada **Gambar 2.6**. Secara keseluruhan tahapan prosesnya terdiri atas tahap koagulasi, sedimentasi, filtrasi, dan disinfeksi.



**Gambar 2.6** Penyaringan Air Skala Besar untuk Distribusi Air Bersih

Sumber : Freepik (2022)

Sebelum pada tahap inti, pertama-tama air ditampung pada bak aerasi untuk menghilangkan bau dan CO<sub>2</sub>. Kemudian (dapat dilihat pada **Gambar 2.6**) dilakukan penyimpanan yang juga terjadi proses pengendapan sebagian partikel hingga patogen secara alami. Tahap inti diawali dengan layaknya proses penyaringan sederhana, yaitu dilakukan pengendapan (koagulasi) yang merupakan cara efisien dalam mengendapkan padatan tersuspensi. Proses koagulasi tersebut menggunakan bahan koagulan dapat berupa mineral, organik, atau flokulan yaitu polimer organik-sintetik (Ghernaout, 2020). Teknik ini digunakan untuk menghilangkan padatan tersuspensi yang sangat ringan yang tidak mengendap dengan sendirinya selama proses penyimpanan. Setelah itu dilakukan proses sedimentasi untuk menghilangkan padatan yang lebih besar yang mengendap dan mengapung dalam air.

Tahap berikutnya yaitu filtrasi. Air yang telah diendapkan kemudian disalurkan melalui saringan gravitasi pasir yang menghilangkan 98-99% mikroorganisme dan kotoran lainnya. Masih sama dengan penyaringan air pada umumnya, dimana bahan penyaring yang digunakan berurutan dari bawah ke atas adalah lapisan batu-batuan, kemudian lapisan pasir kasar, dan paling atas adalah lapisan halus, dengan masing-masing ketebalan 0,5 meter hingga 1 meter,

tergantung dari banyaknya air limbah. Selama filtrasi, lapisan filter dengan cepat ditutupi dengan lapisan berlendir yang disebut lapisan vital, yang terdiri dari serat seperti alga, diatom, dan bakteri.

Terakhir adalah tahap disinfeksi, atau memurnikan air dengan menggunakan disinfektan, misalnya klorinas. Disinfektan membunuh patogen serta mikroorganisme lain di dalam air. Setelah disinfeksi, air dipompa ke tangki di atas kepala untuk distribusi domestik selanjutnya.

**Flotasi.** Pemisahan partikel yang mengapung di atas air seperti lemak dan minyak menggunakan alat penghasil gelembung udara yang dapat mengangkat partikel lemak dan minyak. Cara berikutnya yaitu penambahan reagen bahan kimia organik dengan mengubah kontaminan berupa mineral hidrofilik seperti sabun dan solar menjadi bersifat hidrofobik.

**Adsorpsi/Penyerapan.** Penyerapan dilakukan menggunakan karbon aktif terhadap kontaminan berupa logam berat yang biasa terdapat pada air buangan industri.

**Lumpur Aktif.** Biasa digunakan untuk remediasi limbah dengan kandungan senyawa organik yang tinggi, seperti limbah domestik. Prosesnya dengan menggunakan lumpur aktif pada bak aerasi yang kaya akan selulosa dan terhimpun kehidupan mikroorganisme pengurai senyawa organik. Mikroorganisme yang digunakan antara lain kelompok bakteri pembentuk flok, kelompok saprofit pemecah senyawa organik, kelompok predator bakteri berupa protozoa, dan kelompok pengganggu yaitu bakteri berfilamen dan jamur untuk mengurangi rapat massa dan menimbulkan *bulking*.

**Klorinasi dan Desinfeksi UV.** Penggunaan klorin dan sinar ultraviolet sebagai disinfektan biasa digunakan untuk menghilangkan bakteri patogen dan parasit dalam air tercemar.

Contoh upaya lain yang dapat dilakukan adalah fitoremediasi, merupakan reduksi kandungan limbah menggunakan tanaman yang memiliki karakteristik mampu menyerap kontaminan yang terdapat di dalam limbah (Novita et al., 2019).

## (b) Pencegahan Pencemaran Air

Adapun upaya yang dapat dilakukan dalam mencegah atau meminimalisasi kemungkinan terjadinya pencemaran air, seperti yang diutarakan oleh Susilawaty et al. (2021) antara lain menjaga kualitas sumber air bersih, melakukan reboisasi khususnya dengan pepohonan berkayu tebal, membuang sampah pada tempatnya, mengembangkan daur ulang sampah, regulasi yang tegas terhadap industri mengenai pengolahan dan pembuangan air limbah.

Upaya lainnya terkhusus untuk mencegah terjadinya pencemaran air dari limbah industri adalah dengan membuat Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada perindustrian, merupakan sebuah teknologi yang dirancang untuk memproses air limbah hingga terbebas dari bahan organik maupun kimia industri, agar air tersebut layak ketika dibuang ke lingkungan (Belladonna et al., 2020).

## c) Pencemaran Tanah

### (1) Pengertian Pencemaran Tanah

Pengertian pencemaran tanah telah dijelaskan oleh FAO & ITPS, 2015 (dalam Eugenio et al., 2018), bahwa “Pencemaran tanah mengacu pada keberadaan bahan kimia atau zat yang tidak pada tempatnya dan/atau berada pada konsentrasi yang lebih tinggi dari normal yang memiliki efek buruk pada organisme yang tidak ditargetkan”. Kemudian pengertian lainnya menurut Hamzah & Priyadarshini (2019) bahwa pencemaran tanah menurunnya kualitas tanah akibat dari masuknya bahan tercemar baik secara alami atau akibat perbuatan manusia, sehingga tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Eugenio et al. (2018) juga menyatakan bahwa bentuk pencemaran tanah biasanya tidak dapat secara langsung dilihat atau dirasakan, melainkan menjadi bahaya tersembunyi.

Pada tahun 1990 telah dilakukan perhitungan pada pencemaran tanah secara global oleh *International Soil Reference and Information Centre (ISRIC)* dan *United Nations Environment Programme (UNEP)*, melaporkan bahwa diperkirakan sebanyak 22 juta hektar lahan telah tercemar (Eugenio et al., 2018: Oldeman, 1991), jika melihat dari tingkat urbanisasi dan industrialisasi saat ini (yang terus bertambah), jumlah tersebut diperkirakan akan terus meningkat (Nahid Akhtar & Mannan, 2020). Menurut Lembaga Riset Dunia (dalam Spellman, 2021)

berdasarkan Studi Penilaian Global Degradasi Tanah yang dilakukan untuk UNEP, mengungkapkan fakta bahwa dalam sepuluh tahun terakhir (hingga tahun 1992) sekitar sebelas persen tanah subur di bumi mengalami pengikisan, berubah secara kimiawi, dan memadat secara fisik yang menyebabkan fungsi biotiknya rusak, bahkan tiga persennya telah terdegradasi hingga tidak dapat melakukan fungsi kesuburannya lagi, yaitu kemampuan dalam memproses nutrisi untuk dapat digunakan oleh tumbuhan.

Adapun indikator tanah tercemar, dapat diukur secara kimia, fisika, maupun biologinya. Lebih rinci dijelaskan sebagai berikut :

(a) Indikator Kimia

Dapat diukur dari pH nya dan kandungan bahan organiknya. Tufaila (dalam Setyani et al., 2020) menyatakan bahwa tanah normal memiliki pH netral 6-7 yang merupakan kondisi optimal dalam hal jumlah dan kesetimbangan unsur hara dalam tanah. Selain itu, indikator pencemaran tanah juga dapat dilihat dari konsentrasi bahan kimia pencemar di tanah, seperti menurut Supriatna et al. (2021) bahwa keberadaan Chlor sebagai salah satu bahan kimia penyusun pestisida juga dapat dijadikan sebagai indikator pencemaran tanah akibat penggunaan pestisida. Untuk mengetahui pencemaran tanah akibat logam berat juga dapat diukur dari keberadaan unsur logam berat pada tanah tersebut (Daryanti et al., 2018).

(b) Indikator Fisika

Dapat dilihat dari beberapa ciri fisik tanah yang berkualitas, seperti menurut Handayani (dalam Setyani et al., 2020) dapat melihat dari kepadatan tanahnya yang berhubungan dengan permeabilitas tanah. Kemudian agregasi tanah yang mempengaruhi struktur dan kepekaan terhadap erosi (Setyani et al., 2020; Rachman, 2017). Ketersediaan air pada tanah juga penting, mengingat fungsi dari tanah selain untuk memproduksi makanan dan serat, juga menstabilkan ekosistem alami dan meningkatkan kualitas air dan udara (Setyani et al., 2020; Liu, et al., 2014). Jika ciri-ciri fisik tersebut tidak terdapat dalam tanah, ada kemungkinan tanah mengalami pencemaran.

### (c) Indikator Biologis

Rachman (dalam Setyani et al., 2020) menyarakan bahwa respirasi tanah dapat menjadi indikator untuk menggambarkan aktivitas biologis dan biomassa tanah. Kemudian indikator biologis lainnya dapat dilihat dari keberadaan beberapa organisme penyubur tanah seperti Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) dan keberadaan cacing penyubur tanah (Supriatna et al., 2021). Total jumlah bakteri, kelimpahan bakteri *Azotobacter*, aktivitas katalase, aktivitas selulosolitik, hingga perubahan panjang akar tumbuhan juga dinilai sebagai indikator paling sensitif dan informatif dari aktivitas biologi tanah yang juga dapat dijadikan sebagai indikator tingkat pencemaran tanah (Kolesnikov et al., 2022)

### (2) Sumber atau Penyebab Pencemaran Tanah

Sama halnya dengan pencemaran lainnya, sumber kontaminan pencemaran tanah bisa berasal dari dua sumber, yaitu secara alami dan akibat kegiatan manusia. Secara alami contohnya berasal dari pengendapan polutan gas dan partikulat di atmosfer (Spellman, 2021), diikuti dengan turunnya hujan dari pengendapan tersebut maka dapat menyebabkan akumulasi zat pencemar dari hujan pada tanah sehingga mengganggu kesuburan tanah (Susilawaty et al., 2021). Contoh kontaminan alami lainnya menurut ISO (2015) mengutip dari Tian, et al. (dalam FAO & UNEP, 2021) antara lain elemen jejak, radionuklida, asbestos, dan lain sebagainya yang terjadi secara alami di dalam tanah akibat proses geologi dan pedologi tanpa pengaruh antropogenik. Kim, Choi, & Chang (dalam FAO & UNEP, 2021) juga menyatakan bahwa kontaminan organik seperti hidrokarbon aromatik polisiklik juga dapat menjadi salah satu kontaminan pencemar tanah sebagai akibat dari kebakaran hutan alami. Selain itu fenomena alam seperti letusan gunung berapi juga dapat melepaskan banyak unsur beracun ke dalam lingkungan sehingga bisa menjadi penyebab pencemaran tanah (Al-Taai, 2021).

Antropogenik (aktivitas manusia) menjadi sumber utama pencemaran tanah. Bahkan jumlahnya jauh lebih besar dari yang diperkirakan oleh sebagian besar ilmuwan beberapa tahun lalu (Spellman, 2021). Cachada, Rocha-Santos & Duarte (dalam Eugenio et al., 2018) menyatakan bahwa sumber antropogenik menghasilkan akumulasi kontaminan yang mungkin mencapai tingkat

memprihatinkan. Contoh dari pencemaran tanah akibat aktivitas manusia dapat dilihat dari **Gambar 2.7**, merupakan dokumentasi pribadi peneliti di salah satu wilayah pasar di Tasikmalaya, Jawa Barat, menunjukkan tanah akibat dari pembakaran sampah anorganik seperti menyebabkan perubahan pada struktur tanah, khususnya sifat fisik mulai dari warna yang menghitam bercampur dengan dengan tekstur kering, tumbuhan sekitarnya mati dan terlihat gersang, mengindikasikan penurunan kesuburan tanah.



**Gambar 2.7** Perubahan Sifat Fisik Tanah Akibat Pembakaran Sampah Anorganik

Sumber : Dokumentasi pribadi

Secara lebih rinci berbagai aktivitas manusia yang menjadi penyebab terbesar pencemaran tanah di dunia berdasarkan pembagian wilayahnya, seperti yang dijelaskan oleh FAO & UNEP (2021) antara lain sebagai berikut :

(a) Sumber Pencemaran Tanah pada Wilayah Agrikultural

Sumber utama pencemaran tanah di area pertanian dapat dikelompokkan menjadi: i) pestisida; ii) pupuk mineral; iii) pupuk organik (pupuk kandang dan lumpur limbah); iv) air limbah untuk irigasi; v) limbah bahan plastik seperti film untuk mulsa pertanian dan rumah kaca, tabung irigasi tetes, dan sampah plastik kemasan kosong; vi) limbah pedesaan.

(b) Sumber Pencemaran Tanah pada Wilayah Perkotaan

Berbagai jenis kontaminan pencemar tanah di perkotaan dapat bersumber dari : limbah domestik, aktivitas pertanian di perkotaan atau pinggiran perkotaan, kebocoran tidak disengaja (dapat berasal dari kebocoran tangki bahan bakar dan

saluran pipa, selokan, *septic tank*, dan tempat pembuangan akhir), sampah perkotaan, limbah perawatan kesehatan (seperti limbah rumah sakit), dan limbah elektronik.

(c) Sumber Pencemaran Tanah pada Wilayah Industri dan Transportasi

Berbagai sumber kontaminan dari aktivitas industri dapat berasal dari logam berat limbah kegiatan pertambangan, penggalian dan ekstraksi minyak, industri manufaktur dan daur ulang, industri produksi energi, industri konstruksi, transportasi, dan kebocoran pada industri.

(d) Sumber Pencemaran Tanah pada Wilayah Terdampak Konflik Bersenjata

FAO dan ITPS pada tahun 2015 (dalam FAO & UNEP, 2021), menyatakan bahwa senjata modern pada konflik bersenjata biasanya sulit terurai dan mengandung bahan kimia yang dapat tetap berada di tanah yang terkena dampak selama berabad-abad setelah konflik berakhir. FAO & UNEP (2021) menyajikan beberapa contoh sumber kontaminan dari jenis senjata beserta kontaminan pencemar tanah yang dihasilkannya akibat konflik bersenjata dapat dilihat pada **Tabel 2.1** berikut :

**Tabel 2.1** Sumber beserta Kontaminannya Akibat Konflik Bersenjata

Sumber Kontaminan (Jenis Senjata)	Kontaminan yang Dihasilkan
Bahan peledak konvensional	TNT, RDX, HMX
Pecahan peluru, selongsong peluru, serta butir peluru senapan	Tembaga, besi, timbal, dan seng
Proyektil penembus lapis baja	Uranium terdepleksi
Senjata pembakar	Fosfor putih dan napalm

Sumber : FAO & UNEP (2021)

(3) Pengendalian dan Pencegahan terhadap Pencemaran Tanah

(a) Pengendalian Pencemaran Tanah

FAO & UNEP (2021) menyatakan bahwa terdapat dua cara pengendalian terhadap pencemaran tanah, yaitu secara *in situ* dan *ex situ*.

***In Situ***. Merupakan usaha remediasi tanah dengan melibatkan beberapa perlakuan pada tanah lokasi tercemar secara langsung tanpa melakukan pengangkutan tanah tercemar ke lokasi lain selama perawatan. Oleh karena itu teknologi *in situ* memiliki keuntungan dalam segi biaya yang lebih hemat, serta tetap mempertahankan beberapa karakteristik tanah, seperti struktur, bahan organik,

dan keanekaragaman hayati. Namun terdapat kekurangan yaitu membutuhkan waktu yang lama juga terdapat kekurangan pastian mengenai keseragaman perlakuan dan keefektifannya lebih sulit untuk dibuktikan. Teknologi *in situ* terbagi lagi menjadi secara biologis, fisika, dan kimiawi. *In situ* biologis, dapat dilakukan melalui bioremediasi baik menggunakan mikroba, fitoremediasi (dengan tumbuhan), rhizodegradasi (menggunakan jamur), atau vermiremediasi (menggunakan spesies cacing tanah yang mampu menghilangkan elemen jejak, pestisida, dan kontaminan organik lipofilik, termasuk hidrokarbon aromatik polisiklik). *In situ* fisik/kimiawi, teknik ini mampu mengolah tanah dengan kontaminan yang lebih persisten atau yang mengandung konsentrasi kontaminan yang lebih tinggi. Prosesnya lebih cepat dibanding remediasi secara biologis/alami. Namun membutuhkan biaya yang lebih besar, sumber daya yang memadai, serta berisiko terjadi kesulitan untuk membangun kembali keanekaragaman hayati dan kualitas tanah setelah dilakukan remediasi. Beberapa contoh teknologi remediasi secara fisik antara lain pemisahan elektrokinetik (*electrokinetic separation*), ekstraksi uap tanah dan penghembusan udara (*soil vapour extraction and air sparging*). Sedangkan secara kimiawi contohnya solidifikasi/stabilisasi, oksidasi, reduksi.

***Ex Situ.*** Teknologi *ex situ* mengharuskan tanah tercemar digali dan diremediasi di tempat (setelah dibersihkan diganti), atau dilakukan pengangkutan kemudian diremediasi di lokasi lain. Memiliki keuntungan lebih mudah dilakukan peninjauan serta hanya membutuhkan waktu yang lebih singkat. Namun terdapat biaya tambahan untuk penggalian dan transportasi. Kuppusamy et al. (dalam FAO & UNEP, 2021) menyatakan bahwa proses rehabilitasi pasca remediasi dengan cara *ex situ* menjadi lebih mahal dan kompleks karena cara ini cenderung merusak struktur dan bahan organik dalam tanah sehingga dapat cukup memakan waktu. Sama halnya dengan *in situ*, teknologi *ex situ* juga berbasis biologis, fisik, dan kimiawi.

Beberapa teknologi *ex situ* yang berbasis biologis atau alami antara lain *biopile*, *bioleaching*, *composting* (pemupukan), pertanian lahan, dan penggunaan bioreaktor. Sedangkan untuk teknologi *ex situ* secara fisika dapat berupa pemisahan

atau *separation* (pemisahan secara gravitasi/berdasarkan tingkat kepadatan tanah, magnetik, dan pengayakan), pencucian tanah, dan solidifikasi/stabilisasi (pada cara *ex situ* memerlukan pembuangan bahan yang dihasilkan di fasilitas pembuangan yang memiliki izin). Secara kimiawi, beberapa contoh teknologi tersebut diantaranya teknologi ekstraksi kimiawi, reduksi/oksidasi kimiawi, dan dehalogenasi.

#### (b) Pencegahan Pencemaran Tanah

Adapun upaya yang dapat dilakukan dalam mencegah atau meminimalisasi kemungkinan terjadinya pencemaran tanah, seperti yang diutarakan oleh Susilawaty et al. (2021) antara lain : Menggunakan pupuk dan pestisida alami dalam pertanian, menerapkan konsep *reduce, recycle dan reuse* terhadap limbah, membuang sampah pada tempatnya, membiasakan penggunaan barang atau kemasan ramah lingkungan atau produk yang mudah terurai dalam tanah, serta mengolah tanah pertanian secara organik.

### 3) Dampak Pencemaran Lingkungan

Terdapat beberapa dampak negatif di berbagai bidang yang diakibatkan oleh masalah polusi lingkungan. Spellman (2021) menyatakan bahwa berbagai polutan pencemar udara menimbulkan berbagai dampak negatif terhadap ekosistem, seperti terjadinya hujan asam, penipisan ozon di stratosfer, serta terjadinya perubahan iklim seperti pemanasan dan peredupan global terbentuknya kabut asap. Dampak dari polusi juga menjadi ancaman terhadap ketahanan pangan, ketersediaan air minum, dan menurunnya keanekaragaman hayati (Nahid Akhtar & Mannan, 2020).

Efek merugikan polusi lingkungan terhadap bidang kesehatan, seperti yang diutarakan Laborde, et al. (dalam Xu et al., 2022), yaitu munculnya agen penyakit termasuk bakteri patogen, virus, dan parasit berasal dari lingkungan yang tercemar, bahkan diperkirakan sebanyak 24% dari beban penyakit global dan 23% kematian disebabkan oleh faktor lingkungan, termasuk faktor biologis, fisik, dan kimiawi yang berbahaya di lingkungan.

Dampak tersebut sekaligus berkaitan dengan yang terjadi pada segi ekonomi, sesuai dengan yang diutarakan oleh Landrigan et al. (2018), dimana polusi menyebabkan kerugian produktivitas, menyebabkan sebanyak 2% Produk

Domestik Bruto (PDB) di negara-negara berpenghasilan menengah berkurang setiap dua tahun akibat dari dampak penyakit yang disebabkan oleh polusi..

## 2.2 Penelitian yang Relevan

Penelitian yang dilakukan oleh Astira et al. (2019) berjudul *Analysis of Argumentation Skills in Biological Learning in Senior High School Students*. Penelitian dilakukan di SMAN 4 Surakarta, dengan subjek penelitian adalah seluruh siswa kelas XII peminatan MIA tahun ajaran 2017/2018. Pengambilan data menggunakan dua butir soal esai tes kemampuan argumentasi menggunakan pola argumentasi McNeill & Krajcik mengenai materi bakteri dan keanekaragaman hayati. Data dianalisis secara deskriptif. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan rata-rata keterampilan argumentasi siswa adalah 32,5%, meliputi keterampilan menyatakan klaim (*claim*) sebesar 69%; keterampilan menggunakan bukti (*evidence*) sebesar 33%; keterampilan memberikan alasan (*reasoning*) sebesar 25%, dan keterampilan memberikan sanggahan (*rebuttal*) sebesar 2,05%. Hasil tersebut tergolong rendah.

Astutik (2019) juga melakukan penelitian berjudul Analisis Kemampuan Argumentasi Ilmiah Peserta Didik Pada Materi Perubahan Lingkungan di SMA Negeri 10 Palembang. Subjek penelitian adalah siswa kelas XI MIA 2, XI MIA 3, dan XI MIA 5 berdasarkan *random sampling*. Data diambil melalui tes kemampuan argumentasi berbentuk pernyataan esai yang dikembangkan oleh para peneliti berdasarkan *Toulmin's Argument Pattern* (TAP). Data dianalisis secara deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kemampuan argumentasi ilmiah peserta didik ada pada level 3 (37,78%).

Penelitian oleh Rahayu et al. (2020) yang berjudul Keterampilan Argumentasi Siswa Pada Materi Sistem Gerak SMA Negeri Kabupaten Sukabumi-Indonesia. Subjek penelitian adalah 36 siswa di salah satu kelas XI SMA Negeri Kabupaten Sukabumi tahun ajaran 2019/2020. Pengambilan data melalui tes uraian yang mengukur keterampilan argumentasi berdasarkan *Toulmin's Argument Pattern* (TAP). Data dianalisis secara deskriptif kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keterampilan argumentasi tertulis siswa masih dalam kategori rendah, dengan persentase tertinggi pada level 1 yaitu 38% dan level 2 sebanyak

36%. Sedangkan persentase tertinggi berdasarkan kriteria indikator yaitu 83% pada indikator klaim.

### **2.3 Kerangka Konseptual**

Maraknya informasi palsu dan begitu mudahnya masyarakat terpengaruhi oleh isu hoaks, menandakan masih rendahnya kemampuan masyarakat khususnya di Indonesia dalam mengevaluasi informasi, yang membutuhkan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Keterampilan berargumentasi menjadi salah satu bekal yang dapat dimiliki oleh masyarakat untuk dapat mengelola informasi, mulai dari menerima, mengolah, menyanggah dan menyampaikan informasi yang relevan. Keterampilan ini dapat dilatih sejak seseorang berada di bangku persekolahan. Namun faktanya, berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dilakukan sebelumnya dari beberapa penelitian yang relevan, keterampilan argumentasi ilmiah siswa di beberapa sekolah di Indonesia dapat dinilai masih rendah. Hal tersebut karena guru masih sangat jarang melatih keterampilan argumentasi ilmiah siswa, terutama secara tertulis dalam pembelajaran sains. Di SMA Negeri 2 Tasikmalaya sendiri, pada pembelajaran biologi guru belum pernah melatih secara khusus dan melakukan penilaian keterampilan argumentasi tertulis. Guru juga memperkirakan persentase rata-rata keterampilan argumentasi ilmiah yang dimiliki oleh siswa kelas di XI MIPA Tahun Ajaran 2022/2023 masih berkisar 25%. Oleh karena itu, untuk memastikan tingkatan tersebut perlu dilakukan analisis terkait keterampilan argumentasi ilmiah siswa di SMA Negeri 2 Tasikmalaya.

Melatih keterampilan argumentasi ilmiah pada siswa dalam pembelajaran sains dapat menjadi salah satu solusi dalam meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tingginya. Dalam pembelajaran sains, keterampilan argumentasi ilmiah dapat membantu siswa agar mampu dengan mudah memahami konsep materi lebih detail. Tingkat awal keterampilan argumentasi ilmiah siswa juga perlu diketahui oleh guru karena berguna sebagai acuan guru ke depannya dalam menentukan metode dan strategi dalam melatih keterampilan argumentasi ilmiah pada siswanya sekaligus mengetahui tingkat pemahaman siswa terhadap konsep materi biologi yang diterapkan. Pengukuran dilakukan melalui tes keterampilan argumentasi ilmiah dengan menggunakan pola argumentasi yang dikembangkan oleh McNeill

dan Krajcik, karena pola ini merupakan bentuk penyederhanaan dari pola argumentasi Toulmin, sehingga dinilai dapat memudahkan siswa yang pada dasarnya tidak terbiasa dengan aktivitas berargumentasi ilmiah, serta memudahkan guru dalam melakukan asesmen. Pola argumentasi McNeill dan Krajcik terdiri dari tiga aspek yaitu klaim (*claim*), bukti (*evidence*), dan alasan (*reasoning*).

Dalam pembelajaran sains khususnya biologi, materi perubahan lingkungan dirasa sangat cocok untuk melatih kemampuan argumentasi ilmiah siswa. Hal tersebut karena isu perubahan lingkungan memuat permasalahan sosio-saintifik. Permasalahan sosio-saintifik memiliki solusi jawaban yang relatif, selaras dengan isu perubahan lingkungan yang pelik di masyarakat dan hingga kini tidak ditemukan satu solusi yang pasti dalam penyelesaiannya (setiap solusi memiliki sisi positif dan negatif). Permasalahan sosio-saintifik dapat mengajarkan siswa lebih banyak dalam memahami ilmu pengetahuan, serta mengajarkan etika atau praktik dalam berargumentasi yang baik.

## **2.4 Pertanyaan Penelitian**

### **2.4.1 Bagaimana tingkat keterampilan argumentasi ilmiah siswa kelas XII MIPA**

SMA Negeri 2 Tasikmalaya berdasarkan komponen-komponen yang terdapat pada pola McNeill dan Krajcik?

- a. Bagaimana level komponen argumentasi ilmiah klaim (*claim*) siswa pada pola McNeill dan Krajcik?
- b. Bagaimana level komponen argumentasi ilmiah bukti (*evidence*) siswa pada pola McNeill dan Krajcik?
- c. Bagaimana level komponen argumentasi ilmiah alasan (*reasoning*) siswa pada pola McNeill dan Krajcik?

### **2.4.2 Apa saja faktor internal yang kemungkinan berkaitan dengan tingkat keterampilan argumentasi ilmiah siswa?**

- a. Apakah pengetahuan awal siswa dalam berargumentasi ilmiah dapat berkaitan dengan tingkat keterampilan argumentasi ilmiah siswa?
- b. Apakah pengalaman siswa dalam berargumentasi ilmiah dapat berkaitan dengan tingkat keterampilan argumentasi ilmiah siswa?

- c. Apakah faktor kenyamanan dalam berargumentasi dapat berkaitan dengan tingkat keterampilan argumentasi ilmiah siswa?
  - d. Apakah tingkat kesadaran siswa dalam menilai kredibilitas informasi beserta sumbernya dapat berkaitan dengan tingkat keterampilan argumentasi ilmiah siswa?
- 2.4.3 Apa saja faktor eksternal yang kemungkinan berkaitan dengan tingkat keterampilan argumentasi ilmiah siswa?
- a. Apakah sistem pembelajaran biologi seperti model, metode, dan strategi selama di kelas dapat berkaitan dengan tingkat keterampilan argumentasi ilmiah siswa?