

# BIOTEKNOLOGI LINGKUNGAN

Oleh: Yeni Widiyawati, M.Pd

## A. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi pada bahan ajar ini, mahasiswa diharapkan dapat menguasai:

1. Peran dan ruang lingkup bioteknologi lingkungan;
2. SDGs di bidang lingkungan
3. Polusi dan polutan
4. *Green technology*

## B. Pendahuluan

Bioteknologi lingkungan adalah cabang dari bioteknologi yang memanfaatkan organisme hidup, seperti mikroorganisme, tanaman, atau enzim, untuk mengatasi masalah lingkungan. Melalui pendekatan ini, teknologi dikembangkan untuk meminimalkan dampak negatif aktivitas manusia terhadap lingkungan serta meningkatkan keberlanjutan sumber daya alam. Pada bab ini akan dibahas mengenai: peran dan ruang lingkup bioteknologi lingkungan, SDGs di bidang lingkungan; polusi dan polutan, serta *green technology*.

## C. Peran dan Ruang lingkup bioteknologi lingkungan

Bioteknologi lingkungan merupakan suatu ilmu yang pada dasarnya tercipta akibat adanya limbah dan berbagai turunannya. Bioteknologi lingkungan pada umumnya berkaitan dengan pengendalian polusi yaitu suatu cara untuk memulihkan kondisi yang telah terkontaminasi akibat dari aktivitas manusia. Bioteknologi lingkungan adalah cabang bioteknologi yang berfokus pada penerapan teknologi biologi untuk pemecahan masalah lingkungan dan pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan. Dengan demikian, tujuan utama dari bioteknologi lingkungan adalah menciptakan suatu produk atau cara yang harmonis dengan lingkungan, sehingga meminimalkan bahaya produk sisa baik dalam bentuk padatan, cairan maupun gas yang dihasilkan dari aktivitas manusia. Terdapat 2 cara yang dilakukan untuk mencapai tujuan tersebut antara lain:

1. Ahli bioteknologi lingkungan dapat meningkatkan atau mengoptimalkan kondisi sistem biologis yang ada sehingga membuat aktivitas alami sistem biologi tersebut berjalan lebih cepat atau lebih efisien, atau
2. Ahli bioteknologi lingkungan memodifikasi sistem biologi yang ada sehingga mendapatkan hasil yang sesuai dengan yang diinginkan.

Bebagai variasi organisme berperan besar dalam aplikasi bioteknologi lingkungan, mulai dari mikroba hingga tumbuhan. Semuanya dapat berperan sesuai dengan 3 fungsi dasarnya yaitu menggunakan bentuk organisme itu sesuai apa adanya (tanpa modifikasi), manusia menyesuaikan diri terhadap kondisi organisme atau melakukan modifikasi terhadap organisme. Sebagian besar kasus menggunakan pendekatan yang pertama yaitu menerima dan memanfaatkan spesies yang ada dalam bentuk alami. Terdapat tiga poin kunci bentuk intervensi bioteknologi lingkungan, yaitu pada proses produksi, pada proses pengelolaan limbah atau pada proses pengendalian pencemaran.

Beberapa contoh kasus berikut ini menunjukkan ranah dari penerapan bioteknologi lingkungan. Bagi industri-industri yang seringkali menghasilkan limbah dengan jumlah yang sangat tinggi, bioteknologi menawarkan berbagai macam Teknik yang bisa dilakukan dengan biaya terjangkau. Industri tersebut dapat memanfaatkan peranan organisme secara keseluruhan atau hanya komponen biologi tertentu yang telah terisolasi. Dibandingkan dengan proses pengolahan limbah dengan menggunakan bahan kimia secara konvensional, mikroba dan enzimnya dapat bekerja pada suhu dan tekanan yang lebih rendah sehingga mengarah pada pengurangan biaya yang diperlukan. Selain itu, penerapan bioteknologi memiliki manfaat bagi Kesehatan manusia dan keamanan lingkungan. Bioteknologi secara signifikan juga dapat menghasilkan produk komersial dengan mengubah bahan baku organik menjadi produk bernilai tinggi dengan biaya rendah atau reaksi enzimatik yang lebih spesifik daripada pengolahan limbah secara kimiawi sehingga dapat menghasilkan produk akhir yang aman.

Pada daerah perkotaan yang semakin padat serta meningkatnya reklamasi pada daerah persawahan, dibutuhkan Teknik pengolahan limbah berkelanjutan serta dengan biaya yang rendah. Teknologi bioremediasi dapat dijadikan alternatif pilihan dalam pengolahan limbah yang murah dan berkelanjutan, dengan mengontrol faktor-faktor yang mempengaruhinya maka proses tersebut akan berlangsung secara efektif dan efisien.

Berikut ini merupakan peran bioteknologi secara umum:

1. Bioremediasi: Proses penggunaan mikroorganisme untuk mendetoksifikasi atau memulihkan lingkungan yang tercemar oleh polutan seperti logam berat, pestisida, atau limbah industri. Contohnya adalah penggunaan bakteri pengurai hidrokarbon dalam pembersihan tumpahan minyak di laut.

2. **Pengolahan Limbah:** Aplikasi mikroorganisme dalam sistem pengolahan limbah cair domestik atau industri untuk menguraikan zat organik yang berbahaya sebelum limbah tersebut dilepas ke lingkungan.
3. **Pengelolaan Sampah:** Penggunaan bakteri, jamur, atau mikroorganisme lainnya untuk mempercepat proses penguraian sampah organik menjadi kompos atau pupuk.
4. **Bioenergi:** Pengembangan energi terbarukan seperti biogas dan bioetanol melalui pemanfaatan bahan biologis atau organisme hidup, yang membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan emisi gas rumah kaca.
5. **Pemulihan Ekosistem:** Penggunaan bioteknologi untuk merehabilitasi ekosistem yang rusak, misalnya, penggunaan tanaman yang mampu menyerap polutan (fitoremediasi) untuk membersihkan tanah yang terkontaminasi.

Ruang lingkup bioteknologi lingkungan meliputi berbagai bidang dan teknologi, seperti:

1. **Teknologi Bioremediasi:** Ini mencakup teknologi untuk membersihkan lingkungan dari kontaminasi kimia melalui proses biologis, seperti menggunakan mikroorganisme khusus untuk mendegradasi zat berbahaya.
2. **Teknologi Fitoremediasi:** Menggunakan tanaman untuk menyerap, mengakumulasi, atau menetralkan polutan dari tanah atau air. Tanaman tertentu memiliki kemampuan menyerap logam berat atau bahan kimia lainnya dari tanah yang tercemar.
3. **Teknologi Pengolahan Limbah:** Mencakup sistem biologis untuk pengolahan air limbah, baik menggunakan teknik aerasi maupun anaerob, dengan memanfaatkan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik atau kimia berbahaya dalam air limbah.
4. **Produksi Biofuel:** Ruang lingkup ini mencakup teknologi untuk menghasilkan bioetanol, biogas, atau biodiesel dari bahan biologis, seperti tanaman, limbah pertanian, atau bahan organik lainnya.
5. **Biomining:** Proses menggunakan mikroorganisme untuk mengekstraksi logam dari bijih atau limbah tambang. Biomining memungkinkan pemulihan logam seperti tembaga, emas, dan nikel dari bijih yang berkadar rendah.
6. **Biosensor untuk Pemantauan Lingkungan:** Alat berbasis biologi yang dapat mendeteksi polutan atau perubahan parameter lingkungan secara cepat. Biosensor sering menggunakan enzim, mikroorganisme, atau bahan biologis lainnya untuk memberikan informasi tentang kualitas udara, air, atau tanah.

Walaupun bioteknologi lingkungan menawarkan berbagai solusi untuk masalah lingkungan, terdapat beberapa tantangan dalam penerapannya, antara lain:

1. **Keterbatasan Spesies Mikroorganisme:** Tidak semua mikroorganisme mampu menguraikan setiap jenis polutan, sehingga perlu dikembangkan spesies atau strain mikroorganisme yang lebih efisien.
2. **Resistensi dan Adaptasi Polutan:** Beberapa polutan mungkin resisten terhadap degradasi biologis, dan ini dapat menghambat efektivitas bioremediasi.
3. **Keterbatasan Lingkungan:** Faktor lingkungan seperti pH, suhu, dan ketersediaan nutrisi sangat mempengaruhi keberhasilan proses bioteknologi.

#### **D. Sustainable development goals (SDGs) di bidang lingkungan**

*Sustainable Development Goals* (SDGs) atau Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB) diberlakukan dengan prinsip-prinsip universal, integrasi dan inklusif untuk meyakinkan bahwa tidak akan ada seorang pun yang terlewatkan atau “No-one Left Behind”. Bioteknologi lingkungan memiliki kaitan yang sangat erat dengan Sustainable Development Goals (SDGs) atau Tujuan Pembangunan Berkelanjutan, khususnya dalam mencapai beberapa tujuan utama terkait lingkungan, air bersih, energi terbarukan, hingga mitigasi perubahan iklim. Berikut adalah beberapa cara bagaimana bioteknologi lingkungan berkontribusi dalam mencapai SDGs:

##### **1. SDG 6: Air Bersih dan Sanitasi**

Bioteknologi lingkungan berperan penting dalam menyediakan akses air bersih melalui pengolahan dan pemurnian air limbah menggunakan teknologi biologi.

- a. **Pengolahan Air Limbah:** Mikroorganisme, seperti bakteri dan jamur, digunakan dalam pengolahan air limbah untuk menguraikan bahan kimia berbahaya dan polutan sehingga air yang dihasilkan lebih bersih dan aman bagi lingkungan.
- b. **Fitoremediasi:** Tanaman tertentu, seperti eceng gondok dan bambu, mampu menyerap logam berat dan bahan kimia beracun dari air limbah, sehingga membantu dalam mengurangi pencemaran air.
- c. **Biosensor:** Teknologi biosensor berbasis mikroorganisme digunakan untuk mendeteksi kontaminasi di sumber air secara cepat, sehingga kualitas air dapat dipantau dan dicegah dari kontaminasi lebih lanjut.

## 2. SDG 7: Energi Bersih dan Terjangkau

Bioteknologi lingkungan mendukung pengembangan energi terbarukan yang ramah lingkungan, membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

- a. **Produksi Biofuel:** Bahan biologis seperti sisa pertanian atau mikroalga dapat difermentasi menjadi bioetanol atau biodiesel sebagai bahan bakar alternatif. Ini mengurangi emisi karbon yang dihasilkan oleh bahan bakar fosil.
- b. **Biogas:** Limbah organik, termasuk limbah pertanian dan sampah rumah tangga, diolah dalam biodigester untuk menghasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai energi, menggantikan bahan bakar konvensional.

## 3. SDG 11: Kota dan Komunitas Berkelanjutan

Bioteknologi lingkungan membantu menciptakan kota yang lebih bersih dan berkelanjutan melalui pengelolaan sampah dan pemulihan lingkungan yang tercemar.

- a. **Pengelolaan Sampah Organik:** Penggunaan mikroorganisme dalam pengomposan sampah organik mempercepat proses penguraian sehingga sampah tersebut dapat diubah menjadi pupuk kompos yang bermanfaat bagi tanah.
- b. **Pengolahan Limbah Perkotaan:** Mikroba anaerob dan aerob digunakan dalam pengolahan limbah padat perkotaan untuk mengurangi volume sampah dan meminimalkan pencemaran tanah serta air.

## 4. SDG 13: Penanganan Perubahan Iklim

Bioteknologi lingkungan berkontribusi dalam mitigasi perubahan iklim dengan mengurangi emisi gas rumah kaca serta merehabilitasi lingkungan yang terdegradasi.

- a. **Bioremediasi:** Teknologi ini digunakan untuk mengatasi pencemaran di tanah dan air yang terkontaminasi polutan industri, sehingga mengurangi dampak perubahan iklim yang disebabkan oleh pencemaran.
- b. **Biochar:** Limbah organik dapat diubah menjadi biochar yang disimpan dalam tanah, yang selain meningkatkan kesuburan tanah, juga menyerap karbon dan membantu mengurangi konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer.
- c. **Mikroalga sebagai Penyerap CO<sub>2</sub>:** Mikroalga memiliki kemampuan untuk menyerap CO<sub>2</sub> dalam jumlah besar, sehingga dikembangkan sebagai sumber biomassa dan penyerap emisi karbon di industri.

## 5. SDG 14 dan 15: Ekosistem Laut dan Ekosistem Darat

Bioteknologi lingkungan juga berperan dalam konservasi dan pemulihan ekosistem laut dan darat.

- a. **Pemulihan Ekosistem Laut:** Dalam kasus tumpahan minyak di laut, bakteri yang mampu menguraikan hidrokarbon dimanfaatkan untuk membersihkan perairan. Hal ini sangat penting untuk menjaga keanekaragaman hayati laut.
- b. **Fitoremediasi di Darat:** Pada ekosistem darat, beberapa jenis tanaman digunakan untuk menyerap polutan logam berat dari tanah yang tercemar, yang membantu dalam pemulihan habitat darat.
- c. **Mikroba dalam Rehabilitasi Lahan:** Penggunaan mikroba tanah dalam rehabilitasi lahan terdegradasi atau bekas tambang membantu mengembalikan kesuburan tanah dan mempercepat tumbuhnya kembali vegetasi.

## 6. SDG 12: Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab

Bioteknologi lingkungan mendukung pola konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab dengan membantu mendaur ulang dan mengelola limbah secara efisien.

- a. **Pengelolaan Limbah dan Daur Ulang:** Teknologi bioteknologi digunakan untuk mengubah limbah organik menjadi produk yang bermanfaat seperti pupuk atau energi, sehingga mengurangi beban sampah di tempat pembuangan akhir.
- b. **Pengurangan Bahan Kimia Berbahaya:** Dengan menggunakan mikroorganisme dalam pengolahan limbah industri, jumlah bahan kimia berbahaya yang dilepas ke lingkungan berkurang, sehingga produksi industri menjadi lebih berkelanjutan.

Beberapa contoh aplikasi bioteknologi lingkungan yang mendukung pencapaian SDGs antara lain:

- **Sistem Wetland Buatan untuk Pengolahan Air Limbah:** Digunakan di beberapa negara untuk mengolah air limbah menggunakan sistem tumbuhan air yang dapat menyaring polutan, mendukung SDG 6.
- **Biogas Komunal:** Proyek biogas dari limbah rumah tangga dan pertanian untuk bahan bakar memasak di pedesaan, yang mendukung SDG 7 dan SDG 13.
- **Reklamasi Lahan Bekas Tambang:** Menggunakan mikroba dan tanaman untuk mengembalikan ekosistem lahan bekas tambang, mendukung SDG 15.

Bioteknologi lingkungan sebagai teknologi ramah lingkungan memiliki potensi besar dalam mendukung berbagai SDGs, terutama yang terkait dengan kelestarian sumber daya alam, pengurangan polusi, dan peningkatan kualitas hidup manusia.

## **E. Polusi dan polutan dalam pencemaran lingkungan**

### **1. Konsep Pencemaran Lingkungan**

Peristiwa meletusnya sebuah kawah di dataran tinggi Dieng, Jawa Tengah beberapa tahun lalu yang menyemburkan lumpur dan gas ke udara, tidak disadari penduduk di sekitarnya bahwa hal tersebut berbahaya. Mereka tidak menyadari bahwa gas tidak berwarna dan tidak berbau yang tertiuip angin melintasi perkampungan penduduk dapat mengakibatkan kematian. Akibatnya banyak penduduk, ternak, dan hewan mati dalam waktu yang singkat. Ajaibnya, ada seorang petani yang kebetulan tidur di atap selamat, sedangkan saudara-saudaranya yang tidur di bawah tewas.

Pencemaran lingkungan bukan sebuah fenomena, tapi fakta. Begitu keluar dari rumah, kita langsung menyaksikan peristiwa pencemaran. Bahkan kadang kita pun mencemari, sadar atau tidak. Udara, air dan tanah tercemar, dan kita hidup di dalamnya. Kita hidup di suatu wadah yang kita sebut “lingkungan” dan itu sudah tercemar. Pencemaran terjadi bukan hari ini, tapi sudah berlangsung sekian lama. Sementara bumi yang kita tempati ini, adalah bumi yang dulu itu juga. Tidak di bumi yang baru. Kita tidak bisa ke mana-mana. Oleh karena itu, perlu kita mempelajari tentang pencemaran lingkungan, dengan memulainya dari menjawab pertanyaan mendasar yang dikenal dengan 2WH (*what, why, how*).

#### **a. *What is Pollution?* Apakah pencemaran lingkungan?**

- 1) Pencemaran Lingkungan adalah suatu kondisi yang telah berubah dari bentuk asal pada kondisi yang lebih buruk.
- 2) Pencemaran Lingkungan 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 (Undang-Undang Republik Indonesia No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Bab I Pasal 1 Ayat 14).

Yang dimaksud Baku Mutu Lingkungan (BML) dinyatakan pada bab dan pasal yang sama, di ayat 13, adalah: Ukuran batas atau kadar makhluk, 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.

- 3) *The Pollution is "... The direct or indirect introduction, as a result of human activity, of substances or heat into the water or land which may be harmful to human health or the quality of aquatic ecosystems or terrestrial ecosystems directly depending on aquatic ecosystems, which result in damage to material property, or which impair or interfere with amenities and other legitimate uses of the environment."* (Environmental Protection Act, 2017).
- 4) *The Pollution is the discharge of a toxic or contaminating substance that is likely to have an adverse effect on the natural environment of life* (Duhaimé's Law Dictionary, 2017).
- 5) Dari beberapa batasan dan pengertian di atas, disimpulkan bahwa pencemaran lingkungan adalah suatu kondisi lingkungan yang memberikan pengaruh negatif terhadap makhluk hidup yang disebabkan oleh manusia.

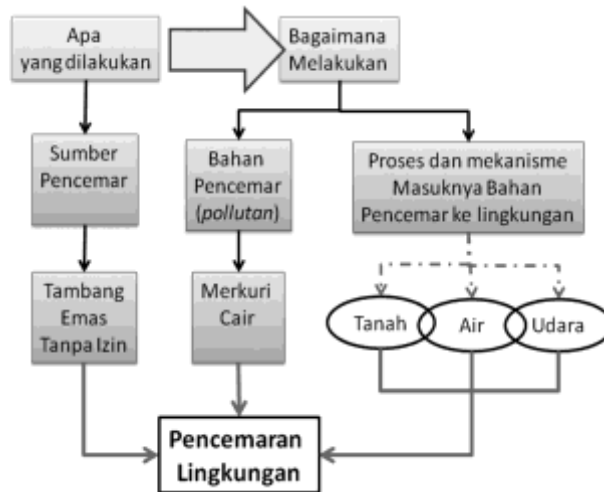
**b. Why does Pollution Happen? Mengapa Pencemaran Lingkungan Terjadi**

Sesuai dengan batasan tentang pencemaran lingkungan di atas, bahwa kondisi lingkungan yang berpengaruh negatif terhadap makhluk hidup itu disebabkan oleh manusia, maka jawaban atas pertanyaan mengapa hal ini bisa terjadi tentulah berpulang kepada manusia itu sendiri. Apa dan bagaimana manusia melaksanakan keinginan dan kebutuhan hidupnya, itulah sebagai penyebab terjadinya pencemaran lingkungan.

Apa yang dilakukan, menjadi sumber pencemaran. Bagaimana melakukan, menjadi proses dan bahan yang menyebabkan terjadinya pencemaran. Contoh sederhana manusia menambang emas tanpa izin. Menambang emas tanpa izin ini, adalah jawaban atas apa yang dilakukan. Berarti sumber pencemaran adalah kegiatan menambang emas tanpa izin itu. Bagaimana melakukan proses menambang emas tanpa izin itu, adalah menjelaskan bagaimana pencemaran itu bisa terjadi dan apa bahan yang mencemari (*pollutant*). Sederhana sekali bukan?

Artinya, sumber pencemaran tidak sama dengan bahan pencemar. Tapi keduanya menyebabkan terjadinya pencemaran melalui sebuah proses. Proses itu bergantung pada jenis dan bagaimana manusia melakukan aktivitas. Dengan demikian, pada contoh kegiatan tambang emas di atas, secara skematis dijelaskan pada Gambar 1.1 berikut.





**Gambar 1.1** Skema Sederhana Terjadinya Pencemaran Lingkungan

Gambar 1.1 menjelaskan mana yang sumber pencemar dan apa bahan pencemarnya serta bagaimana peristiwa itu bisa disebut mencemari sehingga menjadi apa yang disebut dengan pencemaran lingkungan. Dalam hal ini, dicontohkan dengan aktivitas penambangan emas tanpa izin.

Penambang emas tanpa izin, menggunakan bahan kimia yang disebut merkuri cair dalam proses penambangan emas tersebut. Akibatnya, merkuri cair sebagai pollutant bercampur atau masuk ke dalam lingkungan hidup kita. Sederhananya demikian.

Dipertanyakan lagi, mengapa manusia melakukan hal yang demikian? Penyebabnya bisa digunakan pendekatan ekonomi dengan teori ekonomi mikro. Bahwa keinginan dan kebutuhan manusia tidak terbatas, sementara sumber daya alam bersifat terbatas. Sehingga manusia dihadapkan kepada kompetisi yang berimplikasi pada eksploitasi dan eksplorasi sumber daya alam.

Eksplorasi berarti penguasaan terhadap suatu sumber daya untuk mendapatkan keuntungan maksimal, sementara eksploitasi berarti penggalan/pengambilan sumber daya untuk tujuan ekonomis. Yang dibicarakan tentang sumber daya alam di sini tak lain tak bukan adalah lingkungan hidup. Dengan demikian, jawaban singkat atas pertanyaan mengapa pencemaran lingkungan itu mesti terjadi, ialah karena aktivitas ekonomi manusia yang melakukan eksploitasi dan eksplorasi terhadap sumber daya alam.

Ditelusuri lebih jauh, aktivitas ekonomi manusia dalam memenuhi kebutuhan dan keinginannya yang menjadi penyebab pencemaran lingkungan itu, tak lepas dari perilaku (behavior). Akurat rasanya jika penyebab pencemaran lingkungan itu, hakikinya adalah persoalan perilaku manusia. Inilah akar persoalan yang kemudian menjadi fenomena terjadinya berbagai macam peristiwa pencemaran lingkungan melalui aktivitas manusia tersebut. Tidak hanya dalam aktivitas ekonomi, dalam kehidupan sehari-hari pun manusia berkontribusi untuk mencemari lingkungan, seperti perilaku membuang sampah sembarangan dan lain sebagainya. Semakin jelas bagi kita bahwa masalah pencemaran lingkungan, memerlukan berbagai sudut pandang atau pendekatan multi disiplin.

**c. *How does Pollution Happen? Bagaimana Pencemaran Lingkungan Terjadi?***

Jawaban pertanyaan bagaimana ini, secara umum sudah diuraikan di atas dan pada Gambar 1.1 Secara rincinya, jawaban ini akan merujuk pada 3 (tiga) komponen dalam bentuk pertanyaan 3W, yaitu *what, when and where*. Artinya, bagaimana terjadinya pencemaran itu, berarti dikaji tentang (a) apa yang mencemari, (b) kapan terjadi dan (c) di mana terjadinya peristiwa pencemaran tersebut. Secara detail, disajikan sebagai berikut.

- 1) Apa yang mencemari, berarti bahan pencemar yang masuk ke dalam lingkungan, yang disebut sebagai *pollutant*.
- 2) Waktu terjadinya pencemaran itu, adalah saat di mana *pollutant* bercampur dengan komponen lingkungan alamiah, dan disebut dengan *pollution* (pencemaran lingkungan). Artinya, kita membicarakan pencemaran lingkungan telah terjadi. Keberadaan bahan pencemar telah melewati baku mutu lingkungan.
- 3) Di mana terjadinya pencemaran itu, berarti di komponen lingkungan yang mana polusi itu terjadi. Bisa terjadi di udara (*air pollution*), di tanah (*soil pollution*) dan di air (*water pollution*). Bahkan bisa saja dideteksi terjadi di semua komponen lingkungan.

## **2. Sejarah pencemaran lingkungan**

Secara historis tidak mudah memastikan kapan mulainya istilah pencemaran lingkungan dipakai. Belum ada dilaporkan secara akurat di mana dan bagaimana perkembangan pengetahuan manusia, sehingga sampai pada

munculnya istilah pencemaran lingkungan. Tetapi, secara kronologis, dapat dirujuk bahwa sejak manusia memenuhi kebutuhan hidupnya dengan memanfaatkan sumber daya alam, maka potensi perubahan lingkungan alamiah sudah terjadi. Hanya saja, di zaman nenek moyang, hal ini tidak menjadi masalah besar.

Perkembangan peradaban tentu telah dimulai begitu manusia sudah hidup pada suatu lingkungan. Dalam catatan sejarah, sebenarnya di masa abad pertengahan, penyakit kolera dan tifus melanda masyarakat Eropa. Hal ini adalah karena lingkungan yang tidak sehat. Karena keberadaan kotoran hewan dan manusia serta sampah.

Di tahun 1800-an, masyarakat dunia khususnya di Eropa, mulai menyadari bahwa kondisi lingkungan yang tidak sehat, adalah penyebab utama terjadinya perkembangan penyakit dan berakibat kematian. Upaya nyata pengendalian terhadap sampah pertama kali dilakukan di Chicago Amerika Serikat. Upaya ini selanjutnya diadopsi oleh negara- negara lain di dunia.

Sejak saat itu, manusia sudah semakin menyadari bahwa kualitas hidupnya tergantung pada kondisi lingkungan. Berbagai upaya dilakukan dalam hal peningkatan kondisi lingkungan beriringan dengan munculnya disiplin ilmu seperti Higiene Perusahaan, Sanitasi Lingkungan dan lain sebagainya. Tapi, persoalan lingkungan hidup, tak bisa secara parsial dilakukan di salah satu wilayah di muka bumi ini. Pada tahun 1900-an, pencemaran lingkungan tetap terjadi. Terutama disebabkan oleh industrialisasi dan Perang dunia II. Manusia merasakan bahwa dampak pencemaran lingkungan benar-benar berbahaya karena di samping mematikan, juga berdampak jangka panjang terhadap kesehatan manusia.

#### **a. Bom Atom Hiroshima dan Nagasaki**

Pada 15-16 Agustus 1945, Perang Dunia II berakhir. Jepang menyerah tanpa syarat kepada sekutu. Momentum akhir perang ialah dijatuhkannya bom atom di Kota Hiroshima dan Nagasaki di Jepang. Sisi baiknya perang berakhir. Sisi buruknya menyisakan dampak yang luas dan panjang. Dampak bom atom di Hiroshima dan Nagasaki tidak saja bagi manusia yang hidup di dua kota itu, tapi meluas sampai ke manusia yang tinggal di sekitarnya. Tidak hanya mematikan manusia saat itu juga, tapi penurunan derajat kesehatan manusia diwariskan ke generasi berikutnya.

Banyak bayi yang dilahirkan dalam keadaan cacat fisik karena terjadinya mutasi gen.

**b. The Great Smoke**

Desember 1952, di Kota London, Inggris terjadi pencemaran udara berupa smog (smoke and fog) atau asap kabut. Hal ini disebabkan karena penggunaan batubara yang berlebihan pada pabrik-pabrik industri di sekitar kota London. Awalnya memang tidak terkesan berbahaya. Tapi setelah beberapa minggu kemudian dilaporkan ribuan orang meninggal dan ratusan ribu lainnya sakit kronis. Dilaporkan sebanyak 12.000 orang tewas. Kelanjutannya pada tahun 1956 keluar undang-undang tentang polusi udara.

**c. Tragedi Minamata**

Tahun 1956. Minamata adalah nama sebuah kota di Jepang. Di kota itu terjadi kematian manusia, anjing, babi dan kucing serta binatang lain hampir dalam kurun waktu yang lama. Di samping itu, terjadinya gejala syndrome neurologis pada manusia. Gejala syndrome neurologis yang terjadi ternyata disebabkan oleh keracunan merkuri. Penyakit ini kemudian disebut sebagai penyakit minamata. Penyebabnya ialah karena pelepasan merkuri pada air limbah oleh industri dan pabrik kimia Chisso Corporation sejak Tahun 1932 – 1968. Merkuri pada air limbah yang dilepaskan terakumulasi pada biota air, salah satunya ialah kerang. Kerang merupakan makanan bagi masyarakat Jepang dan hewan-hewan peliharaan.

**d. Tumpahan Minyak Amoco Cadiz**

16 Maret 1978, kapal tanker minyak Liberia, Amoco Cadiz kandas di dekat pelabuhan kecil Portsall, pantai Breton, Perancis. Kapal tersebut mengangkut minyak mentah yang kemudian tumpah ke laut. Kita bisa bayangkan berapa jumlah flora dan fauna yang punah di laut akibat dari peristiwa ini.

**e. Tragedi Agen Oranye**

Tahun 1961-1971, perang antara militer AS dengan Vietnam, selain mengorbankan nyawa saat perang, juga terjadinya dampak akibat pestisida. Saat itu, militer AS mencari taktik lain dalam perang. Vegetasi tempat tentara Vietnam berlindung dianggap sebagai kendala dalam memenangkan pertempuran. Vegetasi di kawasan hutan itu dimusnahkan dengan menyemprotkan pestisida dengan volume hampir 20 juta galon. Peristiwa ini disebut sebagai agen oranye.

**f. Tragedi Chernobyl**

26 April 1986 di Chernobyl, sebuah kota di utara Ukraina. Pada pukul 01.23 dini hari, terjadi kebocoran pada Perusahaan Listrik Tenaga Nuklir. Pelepasan radioaktif ke udara tak terelakkan. Peristiwa masuk dan dimasukkannya zat radioaktif ke lingkungan hidup melalui udara terjadi sebegitu cepat. Ini adalah salah satu kenapa peristiwa pencemaran lingkungan tidak bisa dianggap sepele. Sekitar 6,6 juta penduduk terpapar materi radioaktif dan mengakibatkan berbagai kelainan mulai dari bayi yang lahir cacat hingga kanker ganas.

**g. Pencemaran Minyak Exxon Valdez**

23 Maret 1989, Kapal supertanker Exxon Valdez yang memuat 12 juta galon minyak mentah tenggelam di tengah perairan Alaska. Kematian flora dan fauna di laut tak terelakkan. Hal ini berakibat langsung pada penurunan jumlah flora dan fauna serta keanekaragaman hayati (biodiversity) yang ada.

**h. Lumpur Sidoarjo**

Mei 2006, Indonesia juga mencatat peristiwa pencemaran lingkungan di dunia. Hal ini bukanlah prestasi. Terjadinya banjir lumpur panas di Sidoarjo ini dipicu oleh ledakan gas alam dari sumur minyak yang dieksploitasi oleh PT Lapindo Brantas di Jawa Timur, Indonesia.

**3. Komponen Pencemaran Lingkungan**

Pencemaran lingkungan yang sudah dipahami sejauh ini, masih belum rinci terhadap keberadaan atau bercampurnya antara bahan pencemar dengan komponen lingkungan. Oleh karena itu, pada bab ini akan dirinci masing-masing komponen dari lingkungan dalam konteks pencemaran lingkungan yang terjadi. Ini merupakan penjabaran jawaban atas pertanyaan di mana polutan itu bercampur dengan lingkungan hidup. Terjadinya pencemaran lingkungan yang dibahas di sini ialah peristiwa bercampurnya bahan pencemar dengan komponen lingkungan. Dalam Ekologi dan Ilmu Lingkungan, dibagi komponen lingkungan hidup itu atas dua yaitu (1) abiotik yang meliputi udara, tanah dan air serta (2) biotik yang meliputi flora, fauna dan manusia serta mikroorganisme.

**a. Pencemaran Udara**

Perkins (1974) mengemukakan bahwa pencemaran udara berarti hadirnya suatu kontaminan dalam udara atmosfer seperti debu, asap gas, kabut, bau-bauan dan uap dalam kuantitas yang banyak dengan sifat dan lama

berlangsungnya di udara, sehingga mendatangkan gangguan kepada manusia dan makhluk hidup lain. Jika dikaitkan dengan pengertian pencemaran lingkungan yang telah dipahami, berarti persoalannya terletak pada tiga aspek pokok, yaitu:

1. kontaminan: dianalogikan sebagai polutan,
2. komponen lingkungan yang terkontaminasi: tanah/air/udara, dan
3. gangguan pada makhluk hidup: dianalogikan sebagai dampak yang ditimbulkannya.

Kontaminan adalah bahan yang mencemari atau apa yang sudah kita pahami sebagai polutan. Polutan didefinisikan sebagai zat atau bahan yang dapat mengakibatkan terjadinya peristiwa pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan itu terjadi karena polutan, bercampur terhadap salah satu komponen lingkungan di alam, dan tidak diinginkan oleh manusia. Walaupun penyebabnya adalah manusia itu sendiri. Ironis bukan?

Komponen lingkungan itu bisa sebagai udara, tanah dan air. Kenyataannya, salah satu komponen yang terkontaminasi, akan bercampur dengan komponen yang lain. Misalnya pencemaran pada tanah, akan bisa berakibat pula pada pencemaran air dan udara.

Syarat-syarat suatu zat disebut polutan ialah apabila keberadaannya pada komponen lingkungan hidup dapat menyebabkan gangguan terhadap makhluk hidup. Hal inilah yang dinyatakan di atas sebagai suatu kondisi yang tidak diinginkan oleh manusia, yang padahal manusia pula yang menyebabkan itu terjadi.

Contohnya CO<sub>2</sub> (karbondioksida) yang apabila keberadaannya di udara 0,033% maka ia akan bermanfaat bagi tumbuh-tumbuhan dalam proses fotosintesis dan melepaskan oksigen. Tetapi jika lebih tinggi dari 0,033% justru akan dapat memberikan efek merusak pada makhluk hidup.

Dari perspektif legalitas, apabila kadar suatu zat telah berada di atas baku mutu lingkungan, maka hal itu sudah dianggap sebagai sebuah pencemaran lingkungan. Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 telah menentukan suatu keadaan lingkungan dapat dikatakan tercemar dan atau rusak, apabila aktivitas manusia telah mengakibatkan peristiwa di mana mutu lingkungan berubah. Mutu lingkungan dikatakan berubah terlebih dahulu

ditentukan bakunya. Inilah yang disebut dengan baku mutu lingkungan. 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.

Dengan adanya baku mutu ini diharapkan akan terjadi kesamaan pandang dalam memandang lingkungan, dan memang baku mutu ini dimaksudkan untuk melindungi lingkungan dengan semakin banyaknya kegiatan manusia.

Baku mutu udara dapat dibedakan atas baku mutu udara ambien dan baku mutu udara emisi.

### **1. Baku mutu udara ambien**

Adalah batas kadar yang diperkenankan bagi zat atau bahan-bahan pencemar untuk berada di udara dengan tidak menimbulkan gangguan terhadap makhluk hidup, tumbuh-tumbuhan atau benda lainnya.

### **2. Baku mutu emisi**

Adalah batas kadar yang diperkenankan bagi zat atau bahan pencemar untuk dikeluarkan dari sumber ke udara dengan tidak mengakibatkan dilampauinya baku mutu udara ambien.

## **b. Bahan Pencemar Udara**

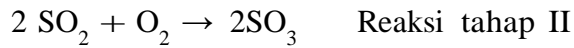
Bahan pencemar udara dapat digolongkan atas bentuknya atau wujudnya. Ada juga yang menyebut sebagai sifat dari bahan pencemar tersebut berupa (1) gas, (2) cair, (3) padat. Tapi bisa saja kombinasi dari salah satu dengan yang lainnya sekaligus mencemari. Masing-masing bentuk/wujud atau sifat dari bahan pencemar udara dijelaskan sebagai berikut.

### **1. Bahan Pencemar Berbentuk Gas**

#### **(a) Senyawa belerang (SO<sub>x</sub> dan H<sub>2</sub>S)**

Senyawa sulfur oksida (SO<sub>x</sub>) merupakan senyawa sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan sulfur trioksida (SO<sub>3</sub>). Senyawa sulfur dioksida mempunyai bau yang sangat menyengat, tapi tidak terbakar di udara. Sulfur trioksida merupakan senyawa yang tidak reaktif. Reaksi pembentukan senyawa ini terjadi dalam dua tahapan reaksi sebagai berikut.





Sumber pencemaran udara oleh polutan SO<sub>x</sub> ini terutama sekali disebabkan karena industri baja, kilang minyak dan pembakaran zat-zat yang mengandung belerang seperti batu bara dan minyak bumi.

(b) Senyawa nitrogen (NO<sub>2</sub>)

Nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) terdiri dari gas nitrit oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>). Komponen ini sering menjadi bahan polutan bagi udara. Senyawa NO merupakan gas yang tidak berwarna, dan tidak berbau, tetapi NO<sub>2</sub> mempunyai warna cokelat kemerahan dan mempunyai bau yang menyengat. Keberadaan nitrogen di udara sebanyak 80% dan 20% oksigen. Pada suhu kamar kedua unsur ini tidak bereaksi, tapi pada suhu tinggi keduanya bereaksi. Jumlah atau kadar NO di udara menjadi berfluktuasi karena disebabkan oleh peristiwa seperti (1) pembakaran pada suhu tinggi (di atas 1.200 Celcius), (2) tersedianya oksigen dalam keadaan yang berlebih.

Dilaporkan oleh Kristanto (2004) bahwa konsentrasi NO<sub>x</sub> di udara perkotaan lebih tinggi 10 – 100 kali dibanding dengan udara di pedesaan. Di perkotaan dapat mencapai 0,5 ppm. Hal ini diakibatkan karena di perkotaan di samping jumlah penduduknya lebih banyak dari pedesaan, juga aktivitas pembakaran pun lebih sering, baik melalui kendaraan bermotor, maupun pembuangan sampah.

(c) Chloro Floro Carbon (CFC)

CFC merupakan senyawa-senyawa yang mengandung atom karbon dengan klorin dan fluorin. Dua CFC yang umum adalah CFC-11 (Trichloromonofluoromethane atau freon 11) dan CFC-12 (Dichlorodifluoromethane). CFC merupakan zat yang tidak mudah terbakar dan tidak terlalu beracun. Satu buah molekul CFC memiliki masa hidup 50 hingga 100 tahun dalam atmosfer sebelum dihapuskan. Oleh karena itu, jika terjadi konsentrasi CFC yang tinggi di atmosfer akan sulit dihilangkan efeknya karena konsentrasi itu bertahan lama di atmosfer. Keberadaan CFC sebagai penyebab menipisnya lapisan ozon mulai marak di bicarakan sejak tahun 1970-an. Proses menipisnya lapisan ozon



oleh CFC ini dikarenakan kestabilannya untuk sampai di tingkat stratosfer. Disebabkan radiasi ultraviolet dari sinar matahari, senyawa CFC kemudian mengeluarkan atom-atom klorin sebagai perusak ozon.

CFC banyak digunakan pada saat sekarang dalam kehidupan manusia, seperti untuk pendingin ruangan (AC), media pendingin pada lemari es (kulkas), bahan pelarut, bahan dorong, dan proses pembuatan plastik. Selain itu, CFC juga banyak digunakan sebagai blowing agent dalam proses pembuatan foam (busa), sebagai cairan pembersih (solvent), bahan aktif untuk pemadam kebakaran, bahan aktif untuk fumigasi di pergudangan, pra pengapalan, dan produk- produk pertanian dan kehutanan lainnya.

(d) Karbon monoksida (CO)

Merupakan komponen gas yang tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau, serta tidak larut dalam air. Berat karbon monoksida ialah sebesar 96,5% dari berat air. Peristiwa pencemaran udara yang disebabkan oleh karbon monoksida sebagai polutan, sering bersumber dari kegiatan industri. Tapi juga dimungkinkan terjadi akibat kegiatan non industri yang disebut domestik.

Penyebab terjadinya pelepasan CO (karbon monoksida) ke udara ialah:

- (i) proses pembakaran bahan yang mengandung karbon secara tidak sempurna
- (ii) reaksi kimia antara CO<sub>2</sub> (karbon dioksida) dengan bahan lain yang mengandung karbon pada suhu tinggi, dengan reaksi sebagai berikut.  
$$\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$$

Pada suhu yang tinggi maka CO<sub>2</sub> akan diuraikan menjadi karbon monoksida (CO) dan 1 atom C.

(e) Hidro Karbon (HC)

Senyawa hidro karbon pada suhu kamar bisa berada di alam dalam wujud gas, cair, dan padat. Sifat fisik masing-masing ditentukan oleh struktur molekulnya. Hidro karbon yang mempunyai 1- 4 atom karbon pada suhu kamar akan berbentuk gas, tetapi hidro karbon yang mempunyai lebih dari lima atom karbon akan berbentuk cair atau padat. Senyawa hidro karbon yang menjadi bahan pencemar udara primer adalah senyawa hidro karbon yang berbentuk fasa gas dan cair. Senyawa ini

mudah menguap dan memiliki atom C kurang dari 12 dengan struktur yang sederhana. Senyawa- senyawa ini dapat berupa senyawa alifatik, aromatic, atau alisiklik. Metana adalah salah satu hidro karbon di alam. Berbeda dengan ozon. Ozon bukanlah hidro karbon. Ozone ( $O_3$ ) adalah naiknya konsentrasi  $O_3$  di atmosfer sebagai akibat langsung dari reaksi hidro karbon yang terjadi di atmosfer.

Dampak dari bahan pencemar berbentuk gas ini ialah:

- (i) Kadar  $CO_2$  yang terlampau tinggi di udara dapat menyebabkan suhu udara di permukaan bumi meningkat dan dapat mengganggu sistem pernapasan.
- (ii) Kadar gas  $CO_2$  lebih dari 100 ppm di dalam darah dapat merusak sistem saraf dan dapat menimbulkan kematian.
- (iii) Gas  $SO_2$  dan  $H_2S$  dapat bergabung dengan partikel air dan menyebabkan hujan asam.
- (iv) Keracunan  $NO_2$  dapat menyebabkan gangguan sistem pernapasan, kelumpuhan, dan kematian.
- (v) CFC dapat menyebabkan rusaknya lapisan ozon.

## **2. Bahan Pencemar Berbentuk Partikel Cair**

- (a) Titik air atau kabut.
- (b) Kabut yang mengandung partikel cair

Dampaknya dapat menyebabkan sesak napas dan jika terhirup akan memenuhi rongga paru-paru pada makhluk hidup. Dampak ini bisa terjadi saat itu juga atau beberapa waktu kemudian. Walaupun wujudnya partikel cair, tapi tentu mengandung unsur kimia yang sudah disajikan di atas.

## **3. Bahan Pencemar Berbentuk Partikel Padat**

Partikel dalam bentuk padat dapat berupa debu atau abu yang berasal dari bahan bakar kendaraan yang bercampur dengan timbal (Pb). Biasanya bahan bakar kendaraan dicampur dengan timbal. Tujuan timbal dicampurkan dalam bahan bakar ialah untuk mempercepat proses pembakaran agar mesin berjalan sempurna. Timbal (Pb) akan bereaksi dengan klor dan brom membentuk partikel  $PbClBr$ . Partikel tersebut akan dikeluarkan melalui knalpot ke udara. Partikel kecil yang

beterbangan ke udara karena peristiwa pembakaran bahan-bahan anorganik oleh manusia, baik domestik maupun industri. Secara umum, penyebab yang utama ialah industri. Tapi, aktivitas domestik juga tidak bisa dikatakan tidak mencemari udara melalui pembakaran sampah dan kegiatan lainnya.

Dampak dari pencemaran udara yang disebabkan oleh partikel padat ialah menyebabkan gangguan kesehatan pada makhluk hidup terutama saluran pernapasan. Dampak terhadap gangguan pernapasan ini, bisa terjadi saat itu juga, tapi juga bisa terjadi beberapa saat kemudian.

### **c. Pencemaran Tanah**

Sama halnya dengan pencemaran pada udara, maka di tanah pun bisa terjadi pencemaran oleh bahan-bahan pencemar yang keberadaannya melebihi batas toleran daya dukung lingkungan. Sumber pencemar pada tanah berdasarkan jenisnya dapat digolongkan atas empat jenis.

#### **1. Pencemaran Tanah Karena Aplikasi Pestisida**

Pestisida adalah bahasa yang paling akrab dengan pertanian. Ilmu pertanian tidak merekomendasikan penggunaan pestisida sebagai satu-satunya cara dalam teknik budi daya pertanian.

Paling tidak ada tiga cara dalam pengembangan teknik budi daya pertanian untuk suatu hasil yang diharapkan tanpa mencemari lingkungan. Dalam praktiknya, hal ini jarang dilakukan. Kecenderungan terhadap pestisida dan pupuk sintetis lebih mendominasi di kalangan petani, karena di samping kurangnya pengetahuan, juga karena fanatik terhadap merek dan hasil instan dari penggunaan bahan kimia tersebut.

Ketiga cara budi daya itu ialah sebagai berikut.

- (a) Kultur teknis, seperti pengolahan tanah berupa perbaikan struktur tanah, rotasi tanaman dan jarak tanam yang diatur sedemikian rupa, dan lain sebagainya.
- (b) Penanaman bibit unggul dari induk yang sehat yang dapat dikenali dari morfologis (tampak luar) tanaman induk.
- (c) Pengendalian hama dan penyakit tanaman secara terpadu, berupa teknik fisika, teknik biologis, teknik kimia. Posisi aplikasi pestisida berada pada poin ketiga yaitu teknik pengendalian kimia. Di poin inilah digunakan pestisida dari sekian banyak metode yang dikembangkan.

Pestisida berasal dari kata pest = pengganggu dan sida = racun. Pestisida = bahan beracun sintetis yang membunuh hama dan penyakit tanaman. Dari dua kata itu saja sudah dapat dimengerti maksudnya sebagai bahan yang beracun, walaupun diarahkan terhadap hama dan penyakit tanaman, tapi bukan berarti tidak beracun bagi manusia.

Dampak pestisida tidak hanya mencemari lingkungan tanah dan air sebenarnya. Tapi sesungguhnya mengakibatkan terjadinya kerusakan lingkungan. Dalam konsep PPLH (Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup) memang dibedakan antara pencemaran lingkungan dengan perusakan lingkungan.

Tapi dalam praktiknya, peristiwa pencemaran dan atau kerusakan itu, sering terjadi bersamaan di salah satu atau lebih komponen lingkungan. Pencemaran di air, sering mengakibatkan terjadinya kerusakan pada tanah.

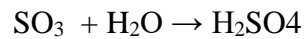
Kerusakan yang ditimbulkan oleh dampak pestisida terhadap tanah ialah perubahan tekstur dan struktur tanah. Akumulasi residu pestisida memengaruhi agregat tanah. Apalagi residu pupuk sintetis.

Pestisida berdasarkan kegunaannya dibagi atas beberapa golongan yaitu (1) insektisida, untuk membasmi serangga (insekta), (2) herbisida, untuk membasmi gula atau tumbuh-tumbuhan yang dianggap pengganggu, (3) fungisida, untuk membasmi pertumbuhan dan perkembangan jamur (fungi), (4) nematisida, untuk membasmi family cacing halus (nematode), (5) rodentisida, untuk membasmi tikus (rodentia), (6) bakterisida untuk membasmi perkembangan bakteri.

Semua jenis pestisida digunakan hampir di seluruh lahan pertanian di tanah air. Bisa kita bayangkan efek residu dan akumulasi bahan berbahaya yang tinggal dan menetap di tanah. Tanah yang diharapkan subur untuk lahan pertanian, akan mengalami degradasi secara perlahan.

Istilah degradasi ini, dapat dimaknai sebagai penurunan fungsi lingkungan karena terjadinya pencemaran dan atau kerusakan lingkungan. Degradasi sumber daya lahan karena efek pestisida ternyata juga berdampak pada pencemaran air. Lebih dari itu, bahkan terjadinya hujan asam karena penguapan uap air yang mengandung residu pestisida dari tanah, akan dibawa turun oleh air hujan ke bumi.

Reaksi sederhananya ialah sebagai berikut.



SO<sub>3</sub> merupakan residu pestisida yang bersama uap air naik ke atas, dan dibawa turun lagi oleh air hujan (H<sub>2</sub>O) yang telah mengandung asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Inilah yang menyebabkan terjadinya cat bangunan yang terkelupas, karena hujan mengandung asam sulfat.

**Tabel 1.** Beberapa Pestisida Menurut Golongan Nama dan Unsurnya

No.	Golongan	Nama	Unsur
1.	Desikan, Defoliant	Natrium Klorat	Na
2.	Fumigan	Metil Bromida Sulfuril Fluorida	Br F
3.	Fungisida	Kadmium Klorida Larutan Bordeaux Ferbam Maneb	Cd Cu Fe Mn
4.	Herbisida	Asam Kokadilin Natrium Borat	As B
5.	Insektisida	Klordan Timbal Arsenat Magnesium Fluosilikat	Cl Pb Mg
6.	Mitisida	Sineksatin Tetradifon	Sn S
7.	Organik	Organofosfat Organofostat	O P

Pencemaran tanah akibat residu pestisida tidak hanya berhenti sampai di tanah saja. Bisa dimakan oleh manusia melalui bahan tanaman hasil panen, bisa diuapkan melalui penguapan dan bereaksi dengan air hujan membentuk hujan asam, seperti yang telah diuraikan sebelumnya, dan bisa mengalir ke badan-badan air dan lain sebagainya.

## **F. Green Technology**

### **1. Pendahuluan**

Pembangunan berkelanjutan telah menjadi salah satu tantangan terbesar yang dihadapi oleh manusia dan planet ini pada abad ke-21. Munculnya perubahan iklim yang cepat, degradasi lingkungan, dan penurunan sumber daya alam yang berkelanjutan telah membawa pembangunan berkelanjutan ke pusat perhatian global. Salah satu solusi yang telah menjadi pusat perhatian adalah pengembangan dan penerapan Teknologi hijau atau *green technology*. Inisiasi ini dirancang untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan meningkatkan efisiensi sumber daya, dianggap sebagai alat yang potensial dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan. Dalam beberapa dekade terakhir, peningkatan populasi global dan pertumbuhan ekonomi telah menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca, degradasi lahan, dan berkurangnya ketersediaan sumber daya alam. Isu-isu lingkungan dan keberlanjutan saat ini memiliki dampak yang signifikan dan meresahkan di seluruh dunia. Salah satu tantangan utama adalah perubahan iklim yang disebabkan oleh peningkatan emisi gas rumah kaca, seperti karbon dioksida, yang mengakibatkan kenaikan suhu global (Zufri Hasrudy Siregar et al., 2021).

Akibatnya, kita menyaksikan cuaca ekstrem yang lebih sering terjadi, seperti badai yang lebih kuat, banjir, kekeringan, dan peningkatan tingkat laut. Selain itu, kerusakan lingkungan seperti deforestasi, hilangnya keanekaragaman hayati, dan pencemaran air dan udara semakin memburuk. Ketersediaan sumber daya alam seperti air bersih, tanah subur, dan bahan bakar fosil juga semakin terancam. Masalah lain adalah masalah kesehatan yang disebabkan oleh polusi udara dan air, serta dampak negatif terhadap kesejahteraan manusia yang diakibatkan oleh perubahan lingkungan. Semua isu ini memberikan tekanan terhadap upaya untuk mencapai pembangunan berkelanjutan yang memperhatikan kebutuhan generasi masa depan dan menjaga keseimbangan ekosistem alam. Dalam konteks ini, *green technology* muncul sebagai solusi yang menjanjikan untuk merespons tantangan-tantangan ini.

*Green technology* memainkan peran yang sangat krusial sebagai solusi inovatif untuk mengatasi tantangan pembangunan berkelanjutan (Priyanka Nehra et al., 2023). Keberlanjutan lingkungan dan ekonomi telah menjadi fokus utama di seluruh dunia. *Green technology*, seperti energi terbarukan dan teknologi hemat energi, telah muncul sebagai jawaban atas isu-isu ini. Salah satu aspek terpenting dari teknologi hijau adalah kemampuannya untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan alam. Hal ini

mencakup pengurangan emisi gas rumah kaca, perlindungan sumber daya alam, dan pelestarian ekosistem alam. Selain itu, teknologi hijau juga berkontribusi pada efisiensi sumber daya dengan penggunaan yang lebih hemat energi dan air. Seiring dengan peningkatan kesadaran akan konsekuensi perubahan iklim, penelitian tentang peran teknologi hijau dalam pembangunan berkelanjutan telah menjadi subjek yang semakin penting. Beberapa penelitian sebelumnya telah memberikan wawasan yang berharga tentang dampak teknologi hijau dalam memperbaiki kualitas lingkungan dan mengurangi jejak ekologis manusia. Dalam sebuah penelitian yang diterbitkan oleh Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) pada tahun 2018, ditemukan bahwa penggunaan energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin dapat berperan penting dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi dampak perubahan iklim. Oleh karena itu, pentingnya teknologi hijau tidak hanya terbatas pada satu aspek, melainkan mencakup spektrum yang luas dan memberikan solusi holistik untuk tantangan pembangunan berkelanjutan di seluruh dunia. Studi terdahulu telah secara komprehensif menyelidiki peran teknologi hijau dalam mengurangi jejak ekologis manusia. Salah satu aspek utama yang diteliti adalah dampak penggunaan teknologi energi terbarukan. *Green technology*, seperti panel surya dan turbin angin, telah berhasil mengurangi emisi gas rumah kaca dan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Selain itu, studi-studi sebelumnya juga menunjukkan bahwa penggunaan teknologi energi terbarukan dapat menghasilkan manfaat ekonomi dengan menciptakan lapangan kerja baru dan meningkatkan kemandirian energi negara-negara. Efektivitas teknologi hijau dalam menghadapi pembangunan berkelanjutan, ditemukan bahwa investasi dan pengembangan lebih lanjut dalam berbagai aspek teknologi hijau, termasuk transportasi berkelanjutan, pengelolaan limbah yang efisien, dan pertanian berkelanjutan, harus menjadi prioritas utama. Penelitian-penelitian terdahulu secara konsisten menekankan bahwa *green technology* memiliki potensi besar untuk mempercepat kemajuan menuju pembangunan berkelanjutan, dan upaya bersama dalam mendorong inovasi dan penerapan teknologi hijau sangat diperlukan untuk menciptakan masa depan yang lebih berkelanjutan dan lestari.

## **2. Peran *Green Technology* terhadap Jejak Ekologis Manusia**

Peningkatan industri dan pertumbuhan populasi manusia telah menghasilkan jejak ekologis yang tidak terbantahkan pada planet kita. Dampak negatif terhadap lingkungan seperti deforestasi, pencemaran udara dan air, serta perubahan iklim menjadi masalah

mendesak yang perlu diatasi. Dalam konteks ini, *green technology* telah memainkan peran yang signifikan dalam mengurangi jejak ekologis manusia melalui berbagai inovasi yang telah dikembangkan. Penggunaan *green technology* dengan energi terbarukan, seperti panel surya dan turbin angin, telah berhasil mengurangi emisi gas rumah kaca. Dengan menggantikan sumber energi konvensional yang berbasis pada bahan bakar fosil, teknologi ini telah membantu mengurangi polusi udara dan kontribusi terhadap perubahan iklim global. Kondisi saat ini menunjukkan bahwa teknologi hijau masih terus berkembang dan menjadi bagian integral dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Namun, tantangan yang ada termasuk adopsi yang lebih luas dan peningkatan efisiensi dalam penggunaan teknologi hijau. Selain itu, peran *green technology* dalam mengurangi jejak ekologis juga terlihat dalam upaya meningkatkan kemandirian energi suatu negara. Dengan mengandalkan sumber energi terbarukan yang lebih berkelanjutan, negara-negara dapat mengurangi ketergantungan mereka pada impor energi fosil yang tidak hanya berdampak ekonomi tetapi juga berpotensi merusak lingkungan. Kondisi saat ini menunjukkan bahwa beberapa negara telah membuat langkah signifikan menuju kemandirian energi dengan meningkatkan porsi energi terbarukan dalam bauran energi. Namun, untuk memaksimalkan peran *green technology* dalam mengurangi jejak ekologis manusia, perlu adanya investasi dan pengembangan lebih lanjut dalam berbagai aspek *green technology*. Hal ini termasuk transportasi berkelanjutan, pengelolaan limbah yang efisien, dan pertanian berkelanjutan.

Kondisi saat ini menunjukkan bahwa masih ada tantangan yang harus diatasi dalam mengintegrasikan *green technology* ke dalam sektor-sektor ini secara luas. Upaya bersama antara pemerintah, industri, dan masyarakat sangat penting untuk memastikan bahwa teknologi hijau benar-benar berfungsi sebagai solusi yang efektif dalam mengurangi jejak ekologis manusia dan mencapai pembangunan berkelanjutan. Seiring kemajuan zaman, pengembangan teknologi hijau harus difokuskan pada beberapa aspek penting guna meningkatkan efektivitasnya dalam mengurangi jejak ekologis manusia dan mencapai pembangunan berkelanjutan. Pertama, perlu ada upaya untuk mengembangkan teknologi energi terbarukan yang lebih efisien dan terjangkau, termasuk peningkatan dalam efisiensi panel surya, turbin angin, dan penyimpanan energi. Selanjutnya, pengembangan transportasi berkelanjutan menjadi prioritas, dengan penekanan pada mobil listrik yang lebih terjangkau dan berjangkauan lebih besar serta investasi dalam infrastruktur transportasi publik yang ramah lingkungan. Pengelolaan limbah yang lebih



efisien juga harus menjadi fokus, termasuk inovasi dalam daur ulang, pengolahan limbah organik menjadi energi, dan pengurangan limbah plastik melalui desain kemasan yang lebih bijaksana. Dalam sektor pertanian, teknologi yang mendukung pertanian berkelanjutan perlu ditingkatkan, melibatkan praktik pertanian yang efisien dalam penggunaan sumber daya dan metode pertanian yang inovatif. Selain itu, penting untuk meningkatkan pendidikan dan kesadaran masyarakat tentang peran teknologi hijau dan adopsinya, serta mendukung pengembangan teknologi melalui kebijakan yang mendukung dan kerjasama internasional dalam mengatasi tantangan lingkungan global. Dengan fokus pada aspek-aspek ini, kita dapat menciptakan masa depan yang lebih berkelanjutan, mengurangi jejak ekologis manusia, dan mendukung pembangunan berkelanjutan di seluruh dunia.

*Green technology* mencakup beragam bidang kehidupan, antara lain pada sektor transportasi, pertanian, industri dan manufaktur, tata kota dan berbagai bidang lainnya.

#### **a. Bidang Transportasi**

Transportasi berkelanjutan adalah sebuah konsep yang dikembangkan sebagai suatu antithesis terhadap kegagalan kebijakan, praktek dan kinerja sistem transportasi yang dikembangkan selama kurang lebih 50 tahun terakhir. Secara khusus transportasi berkelanjutan diartikan sebagai “upaya untuk memenuhi kebutuhan mobilitas transportasi generasi saat ini tanpa mengurangi kemampuan generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhan mobilitasnya”. Organization for Economic Cooperation & Development (OECD, 1994) juga mengeluarkan definisi yang sedikit berbeda yaitu: “Transportasi berkelanjutan merupakan suatu transportasi yang tidak menimbulkan dampak yang membahayakan kesehatan masyarakat atau ekosistem dan dapat memenuhi kebutuhan mobilitas yang ada secara konsisten dengan memperhatikan: (a) penggunaan sumberdaya energi yang terbarukan pada tingkat yang lebih rendah dari tingkat regenerasinya; dan (b) penggunaan sumber daya tidak terbarukan pada tingkat yang lebih rendah dari tingkat pengembangan sumberdaya alternatif yang terbarukan.” Dengan demikian, secara umum konsep sebagai alat transportasi utama di perkotaan, sehingga dapat menjaga lingkungan dari polusi udara. Hal ini menunjukkan bahwa masalah lingkungan telah mendapatkan perhatian cukup serius dan telah didudukkan sebagai prioritas dalam pembangunan transportasi perkotaan yang berkelanjutan (*Sustainable Urban Transport transportasi berkelanjutan Development*). Dengan semakin meningkatnya penggunaan kendaraan

bermotor, khususnya kendaraan pribadi di Indonesia, maka hal ini akan semakin meningkatkan emisi polutan ke udara (Dessy Gusnita, 2010).

Hal ini karena kendaraan bermotor yang menggunakan Bahan Bakar Minyak (BBM) mengandung timah hitam (Lead) berperan sebagai penyumbang polusi cukup besar terhadap kualitas udara dan kesehatan. Di merupakan gerakan yang mendorong penggunaan teknologi ramah lingkungan dalam upaya memenuhi kebutuhan transportasi masyarakat. Dalam konteks perencanaan kota, konsep ini diteremahkan sebagai upaya peningkatan asilitas bagi komunitas bersepeda, pejalan kaki, fasilitas komunikasi, maupun penyediaan transportasi umum massal yang murah dan ramah lingkungan seperti KA listrik maupun angkutan umum lainnya yang dapat mengurangi penggunaan kendaraan pribadi.

Faktor-faktor lingkungan yang timbul akibat aktivitas transportasi umumnya terkait dengan:

- Kebisingan,
- Polusi Udara,
- Kecelakaan lalulintas,
- Stress bagi pengemudi,
- Kesehatan masyarakat.

Di antara faktor-faktor tersebut yang dirasakan paling mengganggu adalah kebisingan dan polusi udara. Kebisingan adalah suara yang tidak diinginkan karena memiliki intensitas atau volume yang melampaui level yang dapat diterima. Umumnya suara yang makin keras makin tidak diinginkan. Suara mulai tidak nyaman pada tingkat 65 dB dan mulai mengganggu Ketika mencapai 85 dB dan pada tingkat 95 dB sudah sangat mengganggu dan dapat merusak pendengaran.

Gas buang sisa pembakaran kendaraan bermotor umumnya menghasilkan beberapa senyawa gas dan partikulat yang dapat membahayakan Kesehatan manusia. Senyawa berbentuk gas yang muncul dari gas buang kendaraan bermotor dapat berupa carbon monoxide (CO), nitrogen oxide (NOx), hydro-carbon (HC); partikulat dan timbal (Pb).

Persamaan reaksi berikut ini akan menjelaskan analisa emisi gas buang yang terjadi pada pembakaran sempurna. Pembakaran sempurna menghasilkan produk CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O,

sedangkan pembakaran yang tidak sempurna menghasilkan produk tambahan CO, HC, NOX, dan partikulat. Emisi inilah yang relatif berbahaya terhadap manusia, tanaman dan bangunan.

a. Reaksi kimia untuk pembakaran sempurna:



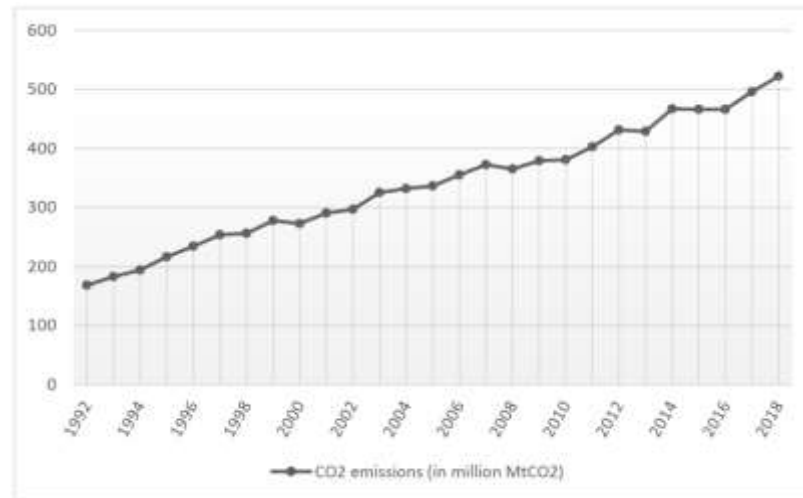
b. Reaksi kimia untuk pembakaran tidak sempurna:



Dampak polusi udara dalam jangka panjang terhadap manusia dapat berupa gangguan kesehatan yang dapat mengakibatkan penurunan daya refleks dan kemampuan visual; atau jangka pendek seperti gangguan pernafasan dan sakit kepala. Polusi udara umumnya memberikan dampak terhadap sistem pernafasan manusia seperti kesulitan bernafas, batuk, asma, kerusakan fungsi paru, penyakit pernafasan kronis dan iritasi penglihatan. Tingkat keseriusan gangguan tersebut tergantung dari tingkat paparan dan konsentrasi polutan yang merupakan fungsi dari volume dan komposisi lalu lintas, kepadatan serta kondisi cuaca.

Kendaraan listrik dapat membantu untuk mengatasi masalah polusi udara di perkotaan. Pengembangan mobil listrik dan sepeda motor listrik memiliki potensi menurunkan emisi polutan (CO, NO<sub>x</sub>, HC, SO<sub>2</sub>, dan PM) yang cukup signifikan. Berdasarkan total emisi CO<sub>2</sub> yang dilepaskan, terdapat 3 komponen yang paling berpengaruh terhadap tingginya emisi tersebut yaitu sektor listrik (42%), transportasi (23%), dan perumahan (6%). Saat ini pemerintah sedang mendorong pengembangan kendaraan listrik dan infrastruktur charging station melalui Peraturan Presiden No. 55/2019. Kendaraan listrik baterai mempunyai kelebihan dibandingkan dengan kendaraan berbasis Internal Combustion Engine (ICE) dalam mengurangi polusi udara dan emisi GRK. Kendaraan listrik menghasilkan polusi udara yang jauh lebih sedikit dan dapat dikatakan mendekati nol bila dibandingkan dengan kendaraan berbasis Internal Combustion Engine (ICE). Kendaraan listrik cocok untuk mengatasi masalah polusi udara, terutama di daerah perkotaan. Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (KBLBB) adalah suatu langkah percepatan yang dilakukan guna mewujudkan implementasi kendaraan listrik di Indonesia sesuai dengan target yang sudah direncanakan. Dengan adanya KBLBB maka memberikan solusi dan dapat membantu pemerintah dalam melakukan penghematan biaya energi dan ketergantungan import BBM, sebagai alat transportasi yang bebas polusi dan ramah lingkungan, serta solusi alternatif dalam mendukung pengurangan Emisi di Indonesia.

Berkaitan dengan Sustainable Development Goals (SDGs) dengan salah satu tujuan Indonesia dalam memiliki prioritas strategi pembangunan terutama yang berkaitan dengan lingkungan yaitu energi bersih, dan upaya menangani perubahan iklim, komitmen Indonesia untuk menargetkan pengurangan emisi CO<sub>2</sub> 29% - 41% pada tahun 2030.

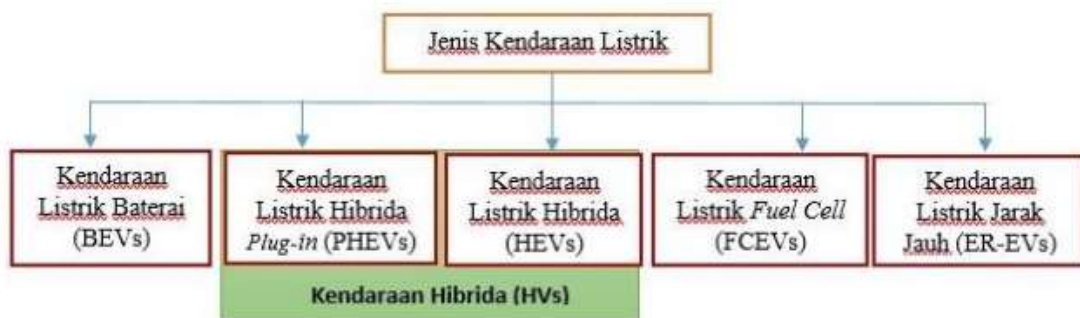


Gambar 1. Intensitas Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia

Berdasarkan grafik pada gambar 1, dapat dilihat bahwa tingginya emisi CO<sub>2</sub> jelas membuktikan bahwa sumber emisi CO<sub>2</sub> yang masih berasal dari sumber energi yang dominan berasal dari penggunaan bahan bakar fosil dapat memberikan kontribusi nyata terhadap kerusakan lingkungan. Menurut data kementerian lingkungan hidup terdapat berbagai factor yang menyebabkan adanya emisi gas rumah kaca salah satunya adalah dari sektor energi. Berdasarkan data dari World Development Indicator, jumlah emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh Indonesia terus meningkat setiap tahunnya. Peningkatan emisi CO<sub>2</sub> ini berbanding lurus dengan peningkatan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia. Pada tahun 2018 berdasarkan data BPS jumlah kendaraan bermotor yang ada di Indonesia telah mencapai angka 146 juta unit. Sektor transportasi sangat bergantung pada energi. Sebagian besar produk otomotif yang digunakan di sektor transportasi menggunakan Bahan Bakar Minyak (BBM) sebagai sumber energi. Penggunaan bahan bakar sebagai sumber energi tidak lepas dari emisi CO<sub>2</sub>.

Penggunaan mobil listrik dapat menjadi solusi terhadap isu permasalahan lingkungan saat ini dikarenakan penggunaan teknologi dan sumber yang ramah lingkungan. Selain itu, penggunaan kendaraan listrik dapat mengantisipasi timbulnya dampak dari krisis energi dan dapat mengurangi polusi udara. Mobil listrik mempunyai beberapa keuntungan seperti efisiensi yang tinggi, tingkat pencemaran lingkungan yang rendah, tingkat kebisingan yang rendah, energinya tersedia dari berbagai sumber energi

alternatif, mudah perawatannya, dan regeneratif. Mobil listrik lebih hemat energi dibandingkan dengan mobil berbahan bakar fosil konvensional. Untuk menjalankan Mobil Listrik diperlukan komponen utamanya yaitu baterai. Kebutuhan baterai litium-ion (li-ion) terus tumbuh dari basis produksi 19 Gigawatt hours (GWh) dengan kapasitas produksi 30 GWh pada 2010 menjadi 60 GWh dengan kapasitas produksi 285 GWh pada 2019. Baterai li-ion terdiri dari beberapa jenis seperti LTO (lithium tithanate), LFP (lithium phosphate), LMO (Lithium Manganese), NMC (lithium nickel mangan cobalt), LCO (lithium cobalt oxide), atau NCA (lithium nickel aluminium oxide).



Gambar 2. Klasifikasi kendaraan listrik menurut teknologi dan pengaturan mesinnya

Pada saat ini, EV dibedakan menjadi lima jenis sesuai dengan teknologi mesinnya yaitu dapat dilihat pada (Gambar 2) :

1. Kendaraan Listrik Baterai (BEVs): kendaraan 100% digerakkan oleh tenaga listrik. BEV tidak memiliki mesin pembakaran dalam dan tidak menggunakan bahan bakar cair apapun. BEV biasanya menggunakan paket baterai yang besar untuk memberikan kendaraan yang dapat diterima otonomi. BEV tipikal akan mencapai 160 hingga 250 km, meskipun beberapa di antaranya dapat menempuh jarak sejauh 500 km hanya dengan sekali pengisian daya. Contoh kendaraan jenis ini adalah Nissan Leaf, yang 100% listrik dan saat ini menyediakan baterai 62 kWh yang memungkinkan pengguna memiliki otonomi 360 km.
2. Kendaraan Listrik Hibrida Plug-In (PHEV): kendaraan hibrida didorong oleh mesin konvensional yang mudah terbakar dan mesin listrik yang diisi oleh eksternal yang dapat dicolokkan sumber listrik. PHEV dapat menyimpan listrik yang cukup dari jaringan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar secara signifikan dalam kondisi mengemudi biasa. Mitsubishi Outlander PHEV menyediakan baterai 12 kWh, yang memungkinkannya berkendara sejauh 50 km hanya dengan mesin listrik. Namun,

perlu diperhatikan juga bahwa konsumsi bahan bakar PHEVs lebih tinggi dari yang ditunjukkan oleh produsen mobil.

3. Kendaraan Listrik Hibrida (HEV): kendaraan hibrida didorong oleh kombinasi mesin pembakaran dalam konvensional dan mesin listrik. Bedanya dengan sehubungan dengan PHEV adalah bahwa HEV tidak dapat dicolokkan ke jaringan. Bahkan, baterai yang memberikan energi ke mesin listrik yang diisi berkat daya yang dihasilkan oleh mesin pembakaran kendaraan. Dalam model modern, baterai juga dapat diisi berkat energi yang dihasilkan saat pengereman, mengubah energi kinetik menjadi listrik energi. Toyota Prius, dalam model hibridanya (generasi ke-4), menyediakan 1,3 kWh baterai yang secara teoritis memungkinkannya otonomi sejauh 25 km dalam semualistriknya modus.
4. Kendaraan Listrik Fuel Cell (FCEVs): kendaraan ini dilengkapi dengan mesin listrik yang menggunakan campuran hidrogen dan oksigen terkompresi yang diperoleh dari udara, memiliki air sebagai satu-satunya limbah yang dihasilkan dari proses ini. Meskipun kendaraan jenis ini dianggap menyajikan “emisi nol”, perlu digarisbawahi bahwa, meskipun ada hidrogen hijau, sebagian besar hidrogen yang digunakan diekstraksi dari gas alam. Hyundai Nexa FCEV adalah contoh dari jenis kendaraan ini, yang dapat menempuh jarak 650 km tanpa mengisi bahan bakar.
5. Kendaraan Listrik Jarak Jauh (ER-EVs): kendaraan ini sangat mirip dengan yang ada di BEV kategori. Namun, ER-EV juga dilengkapi dengan pembakaran tambahan mesin, yang mengisi baterai kendaraan jika diperlukan. Jenis mesin ini, tidak seperti yang disediakan oleh PHEV dan HEV, hanya digunakan untuk pengisian daya, sehingga tidak dihubungkan dengan roda kendaraan. Contoh kendaraan jenis ini adalah BMW i3, yang memiliki baterai 42,2 kWh yang menghasilkan otonomi listrik sejauh 260 km mode, dan pengguna dapat memperoleh manfaat tambahan 130 km dari mode jarak jauh.

#### **b. Bidang Konstruksi**

Konstruksi hijau (*green construction*) dan bangunan hijau (*green building*), samakah? Berdasarkan pengertian, konstruksi hijau dan bangunan hijau berbeda. Konstruksi hijau mempunyai lingkup yang lebih luas daripada bangunan hijau yang lebih spesifik. Berdasarkan Peraturan Menteri PUPR Nomor 09 Tahun 2021 tentang Pedoman Penyelenggaraan Konstruksi Berkelanjutan. Konstruksi hijau (*green construction*) atau konstruksi berkelanjutan (*sustainable construction*) adalah sebuah pendekatan dalam

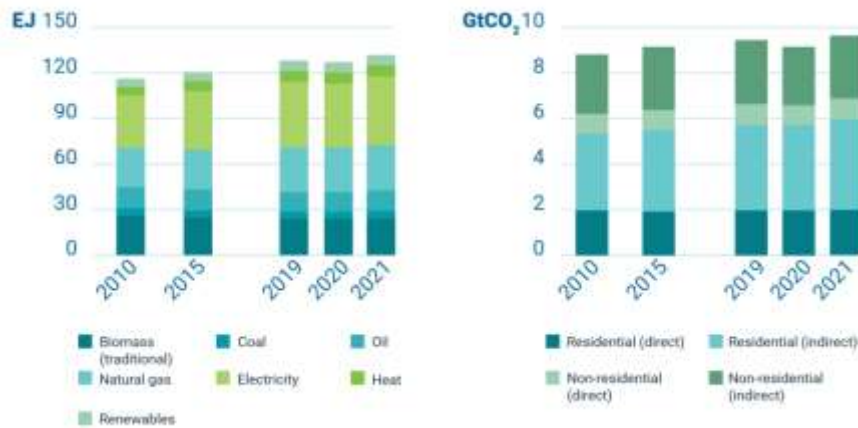
melaksanakan rangkaian kegiatan yang diperlukan untuk menciptakan suatu fasilitas fisik yang memenuhi tujuan ekonomi, sosial, dan lingkungan pada saat ini dan pada masa yang akan datang (Zainal Arifin et al., 2023). Sedangkan Bangunan Gedung Hijau (BGH) (*Green Building*) adalah Bangunan Gedung yang memenuhi Standar Teknis Bangunan Gedung dan memiliki kinerja terukur secara signifikan dalam penghematan energi, air, dan sumber daya lainnya melalui penerapan prinsip BGH sesuai dengan fungsi dan klasifikasi dalam setiap tahapan penyelenggaraannya Berdasarkan Peraturan Menteri PUPR Nomor 21 Tahun 2021 tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau (Kementerian PUPR, 2021).

Berdasarkan United Nations Environment Programme Report, sektor konstruksi juga memiliki kontribusi cukup tinggi dalam menghasilkan emisi yaitu sebesar 38% dari total emisi global yang dihasilkan baik selama proses konstruksi maupun pada masa operasi dan pemeliharaan. Tingginya tingkat emisi yang dihasilkan dari jejak karbon, dapat menyebabkan pemanasan global yang memicu terjadinya perubahan cuaca ekstrem dan mencairnya lapisan es pada kutub sehingga menyebabkan kenaikan air muka laut (Manik et al., 2021).

Beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam praktek konstruksi hijau (konstruksi berkelanjutan), yaitu (Manik et al., 2021):

1. Mengurangi Komsumsi sumber daya alam (*Reduce Resource Consumption*)
2. Menggunakan kembali Sumber daya yang ada (*Reuse Resource*)
3. Mengolah kembali sumber daya yang ada (*Use Recyclable resource*)
4. Melindungi Alam/Lingkungan (*Protect Nature*)
5. Menghilangkan bahan beracun/berbahaya (*Eliminate Toxics*)
6. Menggunakan material yang Awet /tahan lama (*Apply life Cycle Costing*)
7. Berfokus pada Kualitas/Mutu (*Focus on Quality*).

Emisi CO<sub>2</sub> dari pengoperasian gedung telah mencapai rekor tertinggi sepanjang masa sekitar 10 GtCO<sub>2</sub>, terjadi peningkatan sekitar 5 persen dari tahun 2020 dan 2 persen lebih tinggi dari puncak sebelumnya pada tahun 2019 (UNEP, 2022).



Gambar 3. Kiri : Jumlah Konsumsi energi gedung berdasarkan bahan bakar pada tahun 2010 hingga 2021 ;

kanan : Emisi CO<sub>2</sub> pada bangunan pada tahun 2010 hingga 2021

Penyelenggaraan Konstruksi hijau (*green construction*) atau konstruksi berkelanjutan (*sustainable construction*) harus memenuhi 3 pilar, yaitu : aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Konsep “Green” dalam pembangunan tidak berarti tren menggunakan media vegetasi dalam dalam proses pembangunan, tetapi mengedepankan penerapan ramah lingkungan mulai dari tahap perencanaan, pengadaan, pelaksanaan, pengoperasian sampai proses pembongkaran suatu bangunan. Dalam hal ini dilakukan melalui proses konsep desain, pemilihan jenis material, metode kerja, pemilihan peralatan kerja serta manajemen selama pengoperasian suatu bangunan.

Pada dasarnya konsep konstruksi hijau merupakan tahap pelaksanaan yang merupakan proses lanjutan dari konsep desain yang ramah lingkungan. Konsep konstruksi hijau bertujuan untuk:

1. Mereduksi Limbah Material (*Waste Material*), Dalam hal ini tujuan dari Konstruksi Hijau yaitu mereduksi timbulnya limbah material selama proses konstruksi baik berasal dari material konstruksi (Beton, Rebar, Kayu, Bata, Tegel, Agregat dsb) maupun material non konstruksi (Kemasan, Kertas, Sterofoam makanan, plastik minuman dsb). Hal ini dapat terwujud jika peneran Manajemen Waste Material Konstruksi telah diterapkan dengan baik oleh pihak pelaksana selama proses konstruksi. Upaya ini setidaknya dapat mereduksi biaya yang hilang (*Hidden Cost*) dari anggaran total material yang dianggarkan dan juga dari aspek lingkungan dapat mereduksi volume pembuangan limbah material pada area pembuangan (*Landfill*)



serta dapat mereduksi potensi pencemaran lingkungan dari material B3 (Bahan Berbahaya dan beracun).

2. Mereduksi Polusi Selama Konstruksi, Konsep konstruksi hijau juga mengupayakan upaya mereduksi dampak polusi yang dihasilkan selama proses konstruksi. Sumber polusi selama konstruksi dapat memberikan efek terhadap lingkungan misalnya pencemaran debu dari material konstruksi, pencemaran udara yang dihasilkan dari peralatan konstruksi, pencemaran terhadap air dan tanah dari sumber material konstruksi serta pencemaran suara yang menimbulkan kebisingan dari aktifitas peralatan konstruksi. Hal ini tentunya membutuhkan manajemen, metode dan pemilihan material dan peralatan yang lebih ramah terhadap lingkungan.
3. Efisiensi Energi, Sasaran Konstruksi Hijau juga yaitu mengupayakan penggunaan energi secara efisien dan optimal. Selama aktifitas konstruksi penggunaan energi menjadi kebutuhan utama dalam mendukung aktifitas selama konstruksi baik energi listrik maupun bahan bakar.
4. Efisiensi Penggunaan Air, Sasaran dalam konsep Konstruksi Hijau juga mengupayakan efisiensi konsumsi air selama konstruksi. Upaya ini dapat dilakukan dengan cara menggunakan air seperlunya selama konstruksi serta dapat juga dengan memanfaatkan air limpasan hujan pada suatu tampungan sementara melalui proses treatment untuk digunakan selama proses konstruksi. Dengan melakukan upaya efisiensi kebutuhan air setidaknya dapat menjaga ketersediaan air tanah kedepannya.

Di sisi lain, Konsep Bangunan Hijau (*Green Building*) yaitu konsep bangunan secara fisik yang mengedepankan upaya ramah lingkungan selama tahap pengoperasian melalui beberapa kriteria seperti penggunaan material bangunan, penggunaan energi, kondisi sirkulasi udara dan cahaya pada bangunan, konservasi air pada bangunan, pemanfaatan lahan dan manajemen lingkungan disekitar bangunan. Berdasarkan aturan Green Building Council Indonesia (GBCI), 2012 ada beberapa Rating Tools/Greenship atau parameter ukur suatu bangunan dikategorikan sebagai Bangunan Hijau (*Green Building*) yang dapat diringkas sebagai berikut:

1. *Appropriate Site Development*, Dalam hal ini lebih ditekankan pada pemanfaatan lahan suatu bangunan secara layak dan berkelanjutan seperti menyediakan area hijau, area untuk transportasi umum, area untuk pengendara sepeda, area untuk landscape dsb.

2. *Energy Efficiency and Conservation*, Penggunaan energi secara efisien selama operasional bangunan antara lain dengan menggunakan alat monitoring penggunaan energi listrik, penggunaan cahaya alami dengan memperbanyak bukaan, memperbanyak bukaan ventilasi agar udara dalam ruangan menjadi lebih sejuk sehingga penggunaan AC menjadi lebih berkurang dan penggunaan teknologi energi terbarukan seperti penggunaan solar panel system.
3. *Water Conservation*, Upaya efisiensi konsumsi air dengan menggunakan monitoring volume penggunaan air secara berkala, penggunaan air secara efisien, menggunakan teknologi sistem daur ulang air limbah, pemanfaatan teknologi pengolahan tangkapan air hujan dsb.
4. *Material Resource and Cycle*, Dalam hal ini memanfaatkan material bangunan yang lebih ramah terhadap lingkungan seperti menggunakan material yang dapat digunakan ulang kembali (reuse) atau didaur ulang (recycle) kembali, menggunakan material yang tidak mencemari lingkungan, menggunakan sistem material yang terfabrikasi dan memanfaatkan material lokal,
5. *Indoor Health and Comfort*, Parameter bangunan hijau juga mengutamakan kenyamanan penghuni dalam sebuah bangunan antara lain menjaga sistem sirkulasi udara dalam bangunan agar tetap nyaman, kenyamanan suhu bangunan, menjaga kebisingan dalam bangunan, serta kenyamanan dalam hal visual terhadap bangunan.
6. *Building Environmental Management*, Berupa manajemen pengelolaan limbah yang dihasilkan selama operasional suatu bangunan dan upaya mereduksi polusi yang dihasilkan pada sebuah bangunan yang berdampak terhadap lingkungan disekitarnya.

Dari penjelasan tersebut maka jelas bahwa konsep Konstruksi Hijau lebih ditekankan pada proses/aktifitas pada tahap pelaksanaan sedangkan konsep Bangunan Hijau lebih kepada fisik suatu bangunan selama masa operasionalnya. Tentu saja secara umum untuk mewujudkan hal tersebut dibutuhkan biaya yang tidak sedikit sebagai biaya investasi awal namun hal ini akan memberikan dampak positif jika dilihat dan dianalisis sepanjang siklus hidup sebuah bangunan ke depannya, hal ini dikarenakan secara tidak langsung dapat menekan biaya operasional sebuah bangunan dan mereduksi dampak negatif terhadap lingkungan. Dari segi intangible benefit dapat memberikan dampak positif berupa peningkatan produktivitas, kesehatan dan kualitas hidup bagi penghuninya (Thoengsal, 2024).

### c. Bidang Pertanian

Pertanian organik disebut sebagai pertanian yang ramah lingkungan di mana pada proses produksinya tanpa menggunakan input kimia dan setiap tahapannya dari produksi sampai konsumsi harus terkontrol dan tersertifikasi agar tidak mengancam kelestarian lingkungan dan kesehatan manusia (Sutiharni Sutiharni et al., 2023).

Secara ekologis dan biologis, pertanian organik memiliki tujuan untuk menjaga sebaik mungkin lingkungan tanah, sumber daya air dan udara agar tidak tercemar serta kesehatan tumbuhan, hewan dan manusia demi menciptakan bumi yang dapat ditinggali oleh generasi mendatang. Tujuan dari praktik pertanian organik adalah untuk melindungi sumber daya alam, mengembangkan keanekaragaman hayati dan meningkatkan kesesuaian ekosistem untuk produksi pertanian yang berkelanjutan. Praktik pengelolaan yang dilakukan pada sistem pertanian organik bertujuan untuk memelihara ekosistem dalam mencapai produktivitas yang berkelanjutan dengan melakukan pengendalian organisme pengganggu tanaman tanpa bahan kimia, daur ulang sisa tumbuhan dan ternak sebagai sumber bahan organik dan hara, seleksi dan pergiliran tanaman, pengelolaan air, pengolahan tanah dan penanaman dengan metode konservasi serta penggunaan bahan biologis.

IFOAM menjelaskan bahwa pertanian organik memiliki karakteristik yang sebagian besar berfokus pada aspek ekologis. Karakter-karakter tersebut antara lain:

1. Memaksimalkan penggunaan alternatif alami untuk menggantikan input sintetis (pestisida, pupuk, produk peternakan, dll.).
2. Fokus perhatian pada Kesehatan tanah (penggunaan kompos, pengolahan tanah minimal, tanaman penutup tanah, pupuk hijau, dll.).
3. Penganekaragaman spesies, galur atau varietas (polikultur, rotasi tanaman, tanaman sela, integrasi hewan-tanaman, dll.).
4. Menjaga atau menciptakan habitat semi alami (strip rumput, strip bunga, tanaman pagar, dll.)
5. Manajemen hewan ternak yang memperhatikan kesejahteraan hewan (manajemen bebas kandang, akses terhadap ladang terbuka, dll.), manajemen penggembalaan berkelanjutan dan penggunaan sumber pakan lokal.

Secara praktik terdapat perbedaan antara pertanian organik dan pertanian konvensional. Perbedaan praktik tersebut menjadi ciri khas dari pertanian organik yang

kemudian dianggap lebih ramah lingkungan dan sehat. Perhatian utama pertanian organik adalah menjaga kesehatan konsumen, menjaga menarik minat konsumen, menjaga kesuburan tanah dan memperbaiki rantai nutrisi tanaman antara tanah, tanaman, hewan dan lahan. Beberapa praktik yang membedakan pertanian organik dari pertanian konvensional sebagai berikut:

1. Pada pertanian organik pengolahan tanah dilakukan seminimal mungkin. Sistem dan alat pengolahan tanah dipilih sehati-hati mungkin agar struktur fisik tanah dapat tetap terjaga.
2. Perhatian utama pertanian organik adalah menjaga dan meningkatkan kesuburan tanah.
3. Pada proses produksi tanaman, pupuk organik digunakan untuk menggantikan pupuk sintetis.
4. Pada aspek perlindungan tanaman, penggunaan pestisida/herbisida kimia digantikan dengan penggunaan metode pengendalian secara biologis, bioteknik dan kultur teknis.
5. Pada setiap tahapan praktik produksi tidak boleh ada penggunaan zat pengatur tumbuh kimia.
6. Pada pertanian organik juga tidak diperkenankan penggunaan tanaman atau organisme maupun produk turunannya hasil rekayasa genetik.
7. Pada budidaya hewan organik, pakan yang digunakan adalah pakan organik.
8. Penggunaan pakan non-organik tidak diperkenankan.
9. Pada peternakan organik juga tidak diperbolehkan penggunaan obat-obatan, antibiotik dan hormone anorganik (kimia).
10. Pada proses produksi pertanian organik, mulai dari produksi sampai pemasaran harus ada kontrol dan sertifikasi. Audit harus dilakukan mulai dari pra-produksi sampai proses pascapanen mulai dari penyimpanan, pengolahan, pengepakan, dan penjualan.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya bahwa konsep sistem pertanian organik menitik beratkan pada aspek lingkungan (ekologis) sehingga manfaat utama dari penerapan sistem pertanian organik adalah manfaat dari segi ekologis (dengan tanpa mengesampingkan manfaat dari aspek lainnya). Lebih rinci dalam SNI 6729 tahun 2016 tentang Sistem Pertanian Organik (BSN, 2016) dijelaskan lebih luas bahwa sistem pertanian organik dirancang untuk:

1. Mengembangkan keanekaragaman hayati secara menyeluruh dalam sistem.
2. Meningkatkan aktivitas biologi tanah.
3. Menjaga aktivitas tanah dalam jangka panjang.
4. Mendaur-ulang limbah yang berasal tumbuhan dan hewan untuk mengembalikan hara ke dalam tanah sehingga dapat meminimalkan penggunaan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui.
5. Mengandalkan sumber daya yang dapat diperbaharui pada sistem pertanian yang dikelola sendiri.
6. Meningkatkan penggunaan tanah, air dan udara secara efisien, serta meminimalkan semua bentuk cemaran yang dihasilkan dari kegiatan pertanian.
7. Menangani produk pertanian dengan penekanan pada cara pengolahan yang baik pada seluruh tahapan untuk menjaga integritas organik dan mutu produk.
8. Dapat diterapkan pada suatu lahan pertanian melalui suatu periode konversi, yang lamanya ditentukan oleh faktor spesifik lokasi seperti sejarah penggunaan lahan serta jenis tanaman dan hewan yang akan diproduksi.

Menurut Wibowo dan Husnain (2015), setidaknya ada tujuh dampak positif atau manfaat secara ekologis yang dapat diperoleh dari penerapan sistem pertanian organik adalah sebagai berikut:

1. Mampu meningkatkan jumlah mikroorganisme di dalam tanah.
2. Menjaga keseimbangan musuh alami.
3. Menjaga keseimbangan ekosistem.
4. Meminimalkan semua bentuk polusi yang dihasilkan dari kegiatan pertanian
5. Menjaga dan meningkatkan produktivitas lahan dalam jangka panjang, serta memelihara sumber daya alam dan lingkungan.
6. Membangun peradaban pertanian yang ramah lingkungan.
7. Merupakan bagian dari pertanian berkelanjutan.

European Commission (EC) juga menyebutkan beberapa manfaat dari penerapan pertanian organik (Oberč & Schnell, 2020), yaitu:

1. Penggunaan energi dan sumber daya yang lebih bertanggungjawab.
2. Memelihara keanekaragaman hayati.
3. Menjaga keseimbangan ekologi wilayah.
4. Meningkatkan kesuburan tanah.

## 5. Menjaga kualitas air.

Sebagai salah satu dari sistem pertanian berkelanjutan (*sustainable agricultural system*), pertanian organik harus memenuhi syarat keberlanjutan yaitu keberlanjutan ekologi (*ecological sustainability*), keberlanjutan ekonomi (*economical sustainability*) dan keberlanjutan sosial (*social sustainability*) (Rukmana, 2012). Syarat keberlanjutan tersebut menjadi prinsip dasar dari keberlanjutan yang harus diadopsi pada setiap sistem pertanian berkelanjutan yang diusahakan. Suatu sistem pertanian disebut berkelanjutan secara ekologis apabila kegiatan pertanian yang dilakukan dapat mempertahankan integritas ekosistem, memelihara daya dukung lingkungan dan konservasi sumber daya alam termasuk keanekaragaman hayati (Lagiman, 2020).

Pretty (2008) menjelaskan bahwa terdapat beberapa prinsip kunci untuk keberlanjutan, yaitu:

1. Mengintegrasikan proses-proses biologis dan ekologis seperti siklus hara, fiksasi nitrogen, regenerasi tanah, alelopati, kompetisi, predasi dan parasitisme ke dalam proses produksi pangan,
2. Meminimalkan penggunaan input yang tidak dapat diperbaharui yang mengancam kelestarian lingkungan atau kesehatan pertanian dan konsumen,
3. Meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani yang dapat memperbaiki kemandirian mereka dan menggantikan input eksternal yang mahal dengan tenaga manusia
4. Meningkatkan kapasitas kinerja masyarakat untuk bekerja bersama dalam memecahkan permasalahan bersama terkait pertanian dan sumber daya alam seperti gangguan hama, bantaran sungai, irigasi, hutan dan manajemen kredit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dessy Gusnita. (2010). Green Transport: Transportasi Ramah Lingkungan dan Kontribusinya dalam Mengurangi Polusi Udara. *Berita Dirgantara*, 11(2), 66–71.
- Zainal Arifin, Made Suci Ariantini, I gede Iwan Sudipa, Ramadhani Chaniago, Suryani Suryani, Arif Devi Dwipayana, Adriani Adriani, Iwan Adhichandra, Anak Agung Gede bagus Ariana, Rahmania Rahmania, Maria Lusiana Yulianti, Nini Apriani Rumata, & Taty Alfiah. (2023). *Green Teechnology (Penerapan Teknologi Ramah Lingkungan berbagai Bidang\_*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia. [www.sonpedia.com](http://www.sonpedia.com)
- Priyanka Nehra, M. Tamil Selvi, A.K. Dasarathy, Rizwan Naqvi, S., Jambi Ratna Raja Kumar, & Prem Latha Soundarraaj. (2023). Green Technology Implementation for Environmental Sustainability; Applications and Challenges. *Journal of Informatics Education and Research*. <http://jier.org>
- Sutiharni Sutiharni, Zurrahmi Wirda, Elfarisna Elfarisna, Ade Sumiahadi, Hadidjah Latuponu, Ali Rahmat, Rosnina A.G., Acep Atma Wijaya, Nanik Astuti Rahman, Yetti Elfina S., Yusraini Yusraini, Asni Asni, Marhawati Marhawati, Endang Sapta H., Sosiawati, & Nurdiana. (2023). *Teknologi Ramah Lingkungan pada Pertanian Organik: Menuju Pertanian Berkelanjutan*. Nuta Media.
- Thoengsal, J. (2024). *KONSEP KONSTRUKSI HIJAU (GREEN CONSTRUCTION)*. Insight Mediatama. <https://www.researchgate.net/publication/378906571>
- Zufri Hasrudy Siregar, Maward Maward, & Prinsi Rigitta. (2021). Pengembangan dan Potensi Green Technology sebagai Energi Masa Depan di Masyarakat. *Jurnal Deputi: Darma Pengabdian Dosen Perguruan Tinggi*, 1(1), 1–5.